

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Bakalářský studijní program: strojírenská technologie

Zaměření: obrábění a montáž

Analýza vlivu procesních kapalin od firmy PARAMO, a. s. na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při frézování konstrukční oceli

**Analysis of the influence of process fluids from the company PARAMO, a.s.
on the tool life and surface quality during milling of structural steel.**

KOM - 1200

Petr Uždil

Vedoucí práce: Prof. Ing. Alexey POPOV, DrSc. – TUL

Konzultant: Ing. Andrey Dugin - TUL

Počet stran: 56

Počet příloh: 4

Počet obrázků: 61

Počet tabulek: 10

Počet grafů: 11

2.1.2013



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení : **Petr U Ž D I L**
Studijní program : **B2341 Strojírenství**
Obor : **3911R018 Materiály a technologie**
Zaměření : **Obrábění a montáž**

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

Analýza vlivu procesních kapalin od firmy PARAMO, a. s. na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při frézování konstrukční oceli

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Shrnutí poznatků o opotřebení břitů nástroje, rozbor metod zjišťování otupení obráběcího nástroje, trvanlivost břitu nástroje, Taylorův vztah.
2. Klasifikace procesních kapalin pro obrábění, vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin, analýza vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje při frézování.
3. Definice pojmu integrity povrchu, metody měření.
4. Navržení metodiky zkoumání trvanlivosti nástroje a drsnosti povrchu při frézování konstrukční oceli v laboratoři KOM FS TUL.
5. Porovnávání vlivu různých procesních kapalin na trvanlivosti VBD a drsnost povrchu při frézování.
6. Analýza laboratorních výsledků; vyvození závěrů.



Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva : cca 30 stran textu
- grafické práce : obrázky, tabulky a grafy - dle potřeby

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu) :

1. STRYAL, J., JERSÁK, J. Vliv procesního média na vlastnosti čelně frézovaných strojních součástí. *Strojírenská technologie*. Rec. prof. Lukovics, doc. Mrkvica. roč. 16, duben 2011, č. 2. s. 39 - 44. ISSN 1211-4162.
2. LICEK, R., POPOV, A. Modern fluids and tool materials for turning of construction steel. *Manufacturing Engineering*. Rec. M. Havrila aj. roč. 10, červen 2011, č. 2., s. 42 - 44. ISSN 1335-7972.
3. HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Rec. P. Holubář, V. Šída. 1. vyd. Praha: MM publishing s.r.o., 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
4. SANDVIK Coromant, Sandviken: *Technická příručka obrábění – soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů*. 2005.601 s.
5. HOLEŠOVSKÝ, F., DUŠÁK, K., JERSÁK, J., aj. *Terminologie obrábění a montáže*. 1. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, ÚTRV, 2005. 208 s. ISBN 80- 7044-616-1.

Vedoucí bakalářské práce:

Prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.

Konzultant bakalářské práce:

Ing. Andrey Dugin


Doc. Ing. Jan Jersák, CSc.
vedoucí katedry




Doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan

V Liberci, dne 2.10.2012

**Analýza vlivu procesních kapalin od firmy PARAMO, a. s. na
trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při frézování konstrukční
oceli**

ANOTACE:

Práce obsahuje informace o trvanlivosti a opotřebení břitů nástroje, o drsnosti povrchu a o procesních kapalinách. Tato práce se zabývá vlivem procesních kapalin při nesousledném frézování konstrukční oceli. Výsledky vlivu procesních kapalin jsou hodnoceny z hlediska trvanlivosti břitů a drsnosti povrchu.

Klíčová slova: FRÉZOVÁNÍ, PROCESNÍ KAPALINY, DRSNOST POVRCHU
TRVANLIVOST NÁSTROJE, KONSTRUKČNÍ OCEL,

**Analysis of the influence of process fluids from the company PARAMO, a.s.
on the tool life and surface quality during milling of structural steel.**

ANNOTATION:

The work contains information on durability and cutting tool wear, surface roughness, and process liquids. This work deals with the influence of process fluids in conventional milling structural steel. The results of the influence of process fluids are evaluated in terms of tool life and surface roughness.

Keywords: MILLING, PROCESS FLUIDS, SURFACE ROUGHNESS, TOOL
LIFE, STRUCTURAL STEEL

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno: 2013

Archivní označ. zprávy:

Počet stran: 56

Počet příloh: 4

Počet obrázků: 61

Počet tabulek: 10

Počet tabulek: 11

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 2. 1. 2013

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Prof. Ing. Alexeyi Popovovi, DrSc. za pomoc, důležité rady a konzultace při tvorbě práce.

Dále děkuji konzultantovi bakalářské práce panu Ing. Andreji Duginovi za připomínky a cenné rady. Též děkuji panu Ing. Jiřímu Karáskovi za pomoc v laboratoři metrologie a dalším pracovníkům katedry obrábění a montáže, kteří podpořili tvorbu této práce.

Také bych rád poděkoval svým rodičům za velkou trpělivost a podporu při mém studijním úsilí. Děkuji všem ostatním, kteří mě podpořili při studiu a tvorbě této práce.

Petr Uždil

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ.....	9
ÚVOD.....	10
1. SHRUTÍ POZNATKŮ O OPOTŘEBENÍ BŘITŮ NÁSTROJE, ROZBOR METOD ZJIŠŤOVÁNÍ OTUPENÍ OBRÁBĚCÍHO NÁSTROJE, TRVANLIVOST NÁSTROJE, TAYLORŮV VZTAH.....	11
1.1 Shrnutí poznatků o opotřebení břitů nástroje.....	11
1.1.1 Druhy opotřebení břitu nástroje.....	12
1.2. Rozbor metod zjišťování otupení nástroje.....	16
1.2.1. Přímé metody.....	17
1.2.2. Nepřímé metody.....	17
1.3. Trvanlivost břitu nástroje.....	19
1.4. Taylorův vztah.....	20
2. KLASIFIKACE PROCESNÍCH KAPALIN PRO OBRÁBĚNÍ, VLASTNOSTI A CHARAKTERISTIKY PROCESNÍCH KAPALIN, ANALÝZA VLIVU PROCESNÍCH KAPALIN NA TRVANLIVOST NÁSTROJE PŘI FRÉZOVÁNÍ.....	23
2.1. Klasifikace procesních kapalin pro obrábění.....	23
2.1.1 Vodní roztoky	23
2.1.2 Emulzní kapaliny.....	23
2.1.3 Řezné oleje.....	24
2.1.4 Syntetické a polysyntetické kapaliny.....	24
2.2. Vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin.....	24
2.3. Vliv procesních kapalin na trvanlivost nástroje při frézování.....	26
3. DEFINICE POJMU INTEGRITY POVRCHU, METODY MĚŘENÍ	27
3.1. Definice pojmu integrity povrchu.....	27
3.1.1. Drsnost povrchu.....	27
3.2. Metody měření drsnosti povrchu.....	29
3.2.1. Porovnávací metoda.....	29
3.2.2. Bezdotyková metoda.....	29
3.2.3. Dotyková metoda.....	29

4. NAVRŽENÍ METODIKY ZKOUMÁNÍ TRVANLIVOSTI NÁSTROJE A DRSNOSTI POVRCHU PŘI FRÉZOVÁNÍ KONSTRUKČNÍ OCELI V LABORATOŘÍCH KOM FS TUL.....	30
4.1. Popis použitých strojů a přístrojů.....	30
4.2. Navržení metodiky zkoumání trvanlivosti nástroje.....	35
4.2.1. Příprava měření.....	35
4.2.2. Postup při obrábění.....	37
4.3. Navržení metodiky zkoumání drsnosti povrchu.....	38
4.3.1. Příprava měření.....	38
4.3.2. Postup při obrábění.....	39
5. POROVNÁNÍ Vlivu RŮZNÝCH PROCESNÍCH KAPALIN NA TRVANLIVOST VBD A DRSNOST POVRCHU PŘI FRÉZOVÁNÍ.....	41
5.1. Porovnání vlivu různých procesních kapalin na trvanlivost VBD.....	41
5.1.1. Frézování s kapalinou PARAMO ESOK 1.0D.....	41
5.1.2. Frézování s kapalinou PARAMO ESOK 1.0E.....	42
5.1.3. Frézování s kapalinou PARAMO ESOK 1.0F.....	43
5.1.4. Frézování s kapalinou PARAMO ESOK 1.1B.....	44
5.1.5. Frézování s kapalinou PARAMO ESOK 1.1D.....	45
5.1.6. Frézování s vodou.....	46
5.1.7. Frézování bez PK.....	47
5.1.8. Porovnání průměrných hodnot trvanlivosti v jednotlivých prostředích..	48
5.2. Porovnání vlivu různých procesních kapalin na drsnost povrchu.....	49
6. ANALÝZA LABORATORNÍCH VÝSLEDKŮ A VYVOZENÍ ZÁVĚRŮ.....	53
Seznam použité literatury.....	54
Seznam příloh.....	56

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

KOM	[-]	katedra obrábění a montáže
TUL	[-]	Technická univerzita v Liberci
ČSN	[-]	česká technická norma (česká soustava norem)
VB	[mm]	velikost opotřebení hřbetu nástroje
T	[min]	trvanlivost nástroje
V_c	[m/min]	řezná rychlost
a_p	[mm]	hloubka záběru
f	[mm/ot]	rychlost posuvu
n	[1/min]	otáčky
SK	[-]	slinutý karbid
Ra	[μm]	střední aritmetická úchylka profilu
Rz	[μm]	výška nerovnosti profilu určená z 10 bodů
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
Re	[MPa]	mez napětí v kluzu
Rm	[MPa]	mez pevnosti v tahu
HB	[-]	tvrdost podle Brinella
L	[mm]	obráběná délka obrobku
D	[mm]	průměr nástroje
C_{tp50}	[μm]	hloubka, ve které je podíl materiálu a vzduchu 1:1
Cr	[-]	chemická zkratka chromu
C	[-]	chemická zkratka uhlíku
Mn	[-]	chemická zkratka manganu

ÚVOD

Procesní kapaliny jsou pro technologii obrábění důležitou složkou, a proto je tato práce na ně zaměřená. Každá metoda obrábění má jiné požadavky na vlastnosti procesní kapaliny. Při volbě kapaliny se musí brát v potaz metoda obrábění, materiál obrobku, nástroje a příslušné řezné podmínky. Dobře zvolená procesní kapalina může pozitivně ovlivnit průběh obrábění, dokáže zmenšit řezné síly, odvádět teplo, efektivně odplavovat třísku, zlepšit jakost obrobené plochy a mnoho dalších kladných vlivů.

V této práci je nejprve zpracována teoretická část, kde jsou shrnuty poznatky o opotřebení a trvanlivosti břitu nástroje. Rozdělení, vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin pro obrábění. Dále je rozebrána integrita povrchu a její měření. Následuje experimentální část, kde bylo úkolem navrhnout metody pro měření a analýzu procesních kapalin na trvanlivost břitu nástroje a drsnost povrchu při nesousledném frézování konstrukční oceli.

Veškerá výzkumná práce vlivu procesních kapalin na trvanlivost břitu a jakost obrobeného povrchu, byla provedena v laboratořích katedry obrábění a montáže Technické univerzity v Liberci. Pracovalo se s materiálem 14220.3 a břitovými destičkami SNUN 120412; S30.

Cílem této práce je porovnat a odzkoušet procesní kapaliny dodané firmou PRAMO a.s, spolu s vodou a obráběním bez přídavné kapaliny, Při nesousledném frézování konstrukční oceli. Zvolená procesní prostředí byla hodnocena ze dvou vlivů. Jednak z pozitivních vlivů na trvanlivost nástroje, tak i z hlediska vlivu na kvalitu obrobeného povrchu. Na závěr byla určena kapalina, která má nejlepší účinky na oba měřené parametry.

1. SHRUTÍ POZNATKŮ O OPOTŘEBENÍ BŘITŮ NÁSTROJE, ROZBOR METOD ZJIŠŤOVÁNÍ OTUPENÍ OBRÁBĚCÍHO NÁSTROJE, TRVANLIVOST NÁSTROJE, TAYLORŮV VZTAH

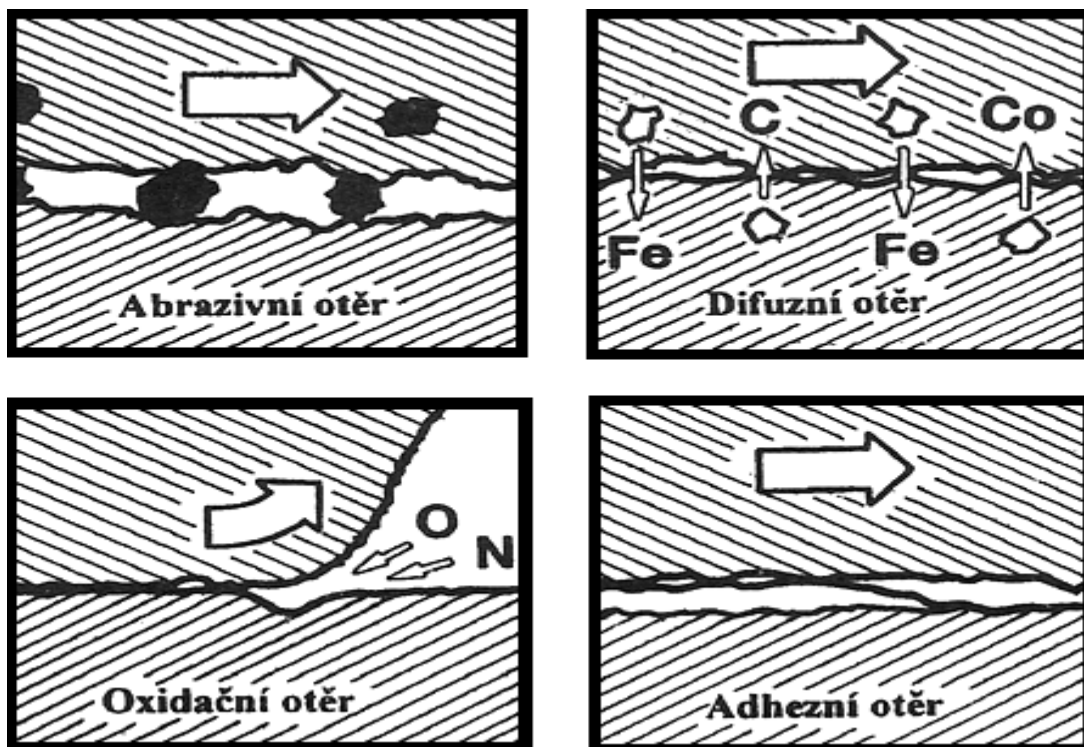
1.1 Shrnutí poznatků o opotřebení břitů nástroje

Opotřebení břitu nástroje vzniká při kombinaci zatěžujících faktorů. Nejdůležitější faktory které mají vliv na opotřebení jsou:

- mechanický
- tepelný
- chemický
- abrazivní

Za působení zmíněných faktorů, které se projeví při procesu obrábění se vyskytnou základní mechanismy opotřebení:

- abrazivní opotřebení
- lom (dynamický nebo statický)
- difúzní opotřebení
- adhezní opotřebení
- oxidační opotřebení



Obr. 1 Základní mechanismy opotřebení [1]

U **abrazivního opotřebení** se předpokládá, že příčinou otěru čela a hřbetu je postupné mechanické narušování povrchu těchto funkčních ploch bříty. Tvrdé strukturní složky obráběného materiálu se dostávají mezi nástroj a obrobek, kde odřezávají a obrušují povrch bříty. Tomuto druhu se dá předejít zvýšením tvrdosti materiálu nástroje. [1,2]

Nestálé teploty a vysoké řezné síly při obrábění mají za následek vydrolování materiálu a vniku **lomu** bříty nástroje. Lom může vzniknout i z příčiny vysoké tvrdosti a pevnosti obráběného materiálu a nebo příliš měkkého nástrojového materiálu bříty. [1,2]

Difuzní opotřebení vzniká příčinou chemických vlivů při průběhu obrábění. Je to způsobeno chemickými vlastnostmi materiálu nástroje a obrobku. Afinita mezi nástrojovým materiálem a obrobkem způsobí difuzní opotřebení, které způsobí vznik žlábků na čele nástroje. Toto opotřebení je závislé na teplotě. Největší opotřebení se vytvoří při vysokých řezných rychlostech. [1,2]

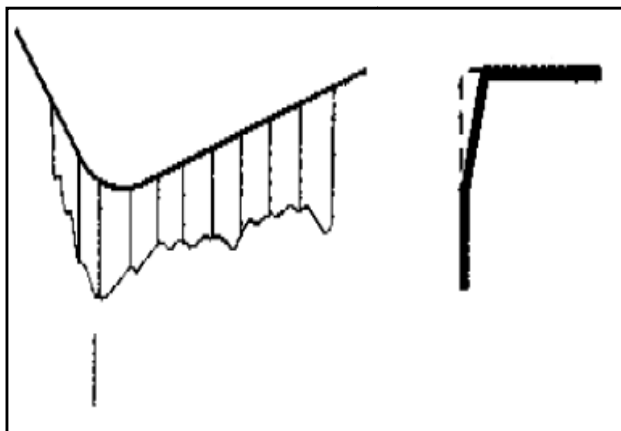
Při nízkých teplotách obrábění se na čele nástroje projeví **adhezní opotřebení**. Průvodním jevem tohoto opotřebení je vznik nárůstku mezi třískou a břitem. Nárůstek se vytváří dynamicky s narůstajícím počtem vrstev. Vrstvy se postupně navažují a vytvrzují, až se stávají součástí bříty. [1,2]

Okolní vzduch a vysoká teplota v místě řezu způsobí **oxidaci** většiny kovů použitých pro obrábění. Toto opotřebení se nejvíce tam, kde dojde k přerušení kontaktu třísky s břitem nástroje, v tuto chvíli se vzduch dostane do řezného místa.

1.1.1 Druhy opotřebení bříty nástroje

Opotřebení hřbetu bříty

se řadí mezi abrazivní formy opotřebení, projevuje úbytkem materiálu na hřbetní ploše bříty. Plocha hřbetu u hlavního a vedlejšího ostří, poloměru špičky nebo na čelní fasetce je v průběhu řezného procesu vystavena silnému působení materiálu obrobku.



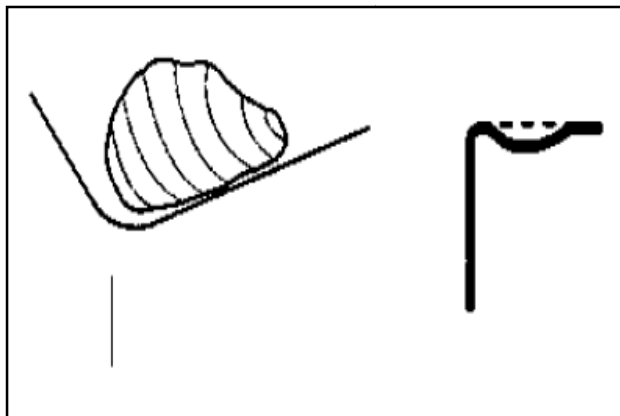
Obr. 2 Opotřebení hřbetu bříty

Následné příliš vysoké opotřebení negativně ovlivňuje kvalitu obrobku.

přesnost rozměrů. Dále dochází ke zvýšení vibrací, řezných sil a nárůstu tření, které vzniká změnou geometrie břitu. [2,12]

Opotřebení ve tvaru žlábků na čele břitu se vytváří působením mechanismů difúzního a abrazního opotřebení. Vznik žlábků je způsoben částečným úběrem řezného nástrojového materiálu, ale hlavně difúzí v kontaktním místě mezi třískou a

materiálem břitu, kde se vyskytují nejvyšší teploty. Mimořádně velké opotřebení v podobě žlábků může zapříčinit změnu geometrie břitu a ovlivnit tak tvar třísky, změnit směr působení řezných sil a zeslabit břit. [2,12]

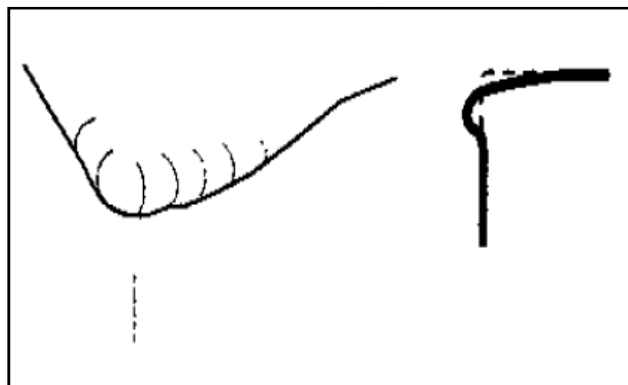


Obr. 3 Opotřebení tvaru žlábků na čele

Plastická deformace břitu je zapříčiněna působením kombinace vysokých teplot a řezných tlaků na břit. Za to mohou především vyšší tvrdosti obráběného materiálu s vysokými řeznými rychlostmi a posuvy.

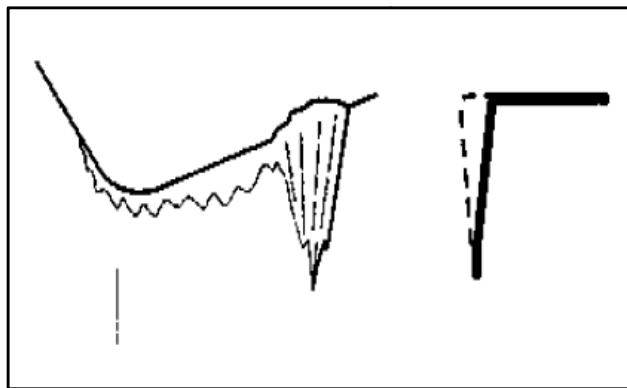
Typická deformace (vyboulení)

břitu ještě více navyšuje teploty a tím dochází k deformaci a změně geometrie břitu. Tato změna má za následek změnu odchodu třísky a tím se může velice rychle dosáhnout kritického stádia. Při použití správného zaoblení a geometrie břitu se dá toto opotřebení snížit. [2,12]



Obr. 4 Plastická deformace břitu

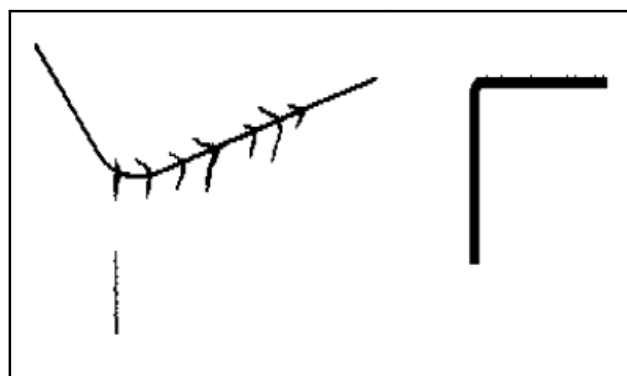
Opotřebení ve tvaru vrubu na hřbetě bříty je typické adhezní opotřebení, ale může také souviset s oxidačním jevem opotřebení. Vruby se tvoří v místě kontaktu bříty s bokem třísky, objeví se tam, kde vzduch proniká do oblasti řezu.



Obr. 5 Opotřebení ve tvaru vrubu na hřbetě

Na vedlejším hřbetu bříty za opotřebení mohou mechanické vlivy, jejichž průvodci jsou tvrdé částice materiálu obrobku. Příliš vysoké opotřebení ve tvaru vrubu ovlivňuje tvorbu třísky a může vést až k lomu, tudíž k destrukci břitové destičky. [2]

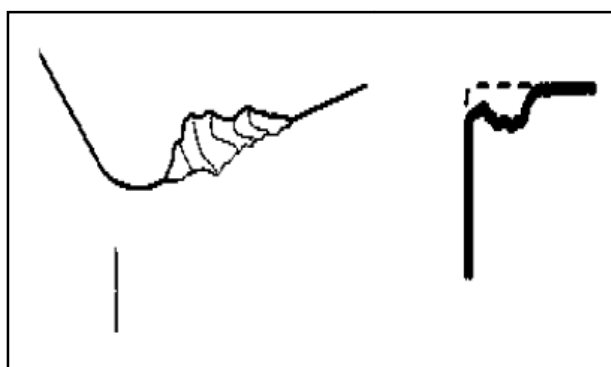
Hřebenovité trhliny na ostří se tvoří vinou únavového opotřebení, které vzniká teplotními změnami. Trhliny se tvoří kolmo na ostří, přičemž se mohou jednotlivé částice břitové destičky vylamovat a způsobit tím lom bříty. Toto opotřebení se



Obr. 6 Hřebenovité trhliny na ostří

projeví především při frézování, kde má negativní vliv na rozdíl teplot především změna tloušťky třísky nebo použití chladicích kapalin. [2,12]

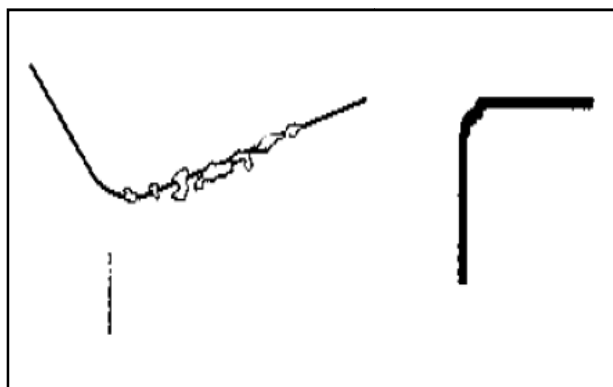
Únavový lom je typický při použití příliš velkých řezných sil při obrábění. Působení jednotlivých druhů zatížení nástroje během obrábění není samo o sobě natolik velké, aby došlo k lomu bříty nástroje.



Obr. 7 Únavový lom

Součtem těchto různých zatížení, které se nepřetržitě mění, se riziko lomu bříty zvyšuje. Způsob pronikání nástroje do materiálu obrobku a změna velikosti a směru působení řezné síly mohou být pro pevnost a houževnatost vyměnitelné břitové destičky příliš náročné. [2,12]

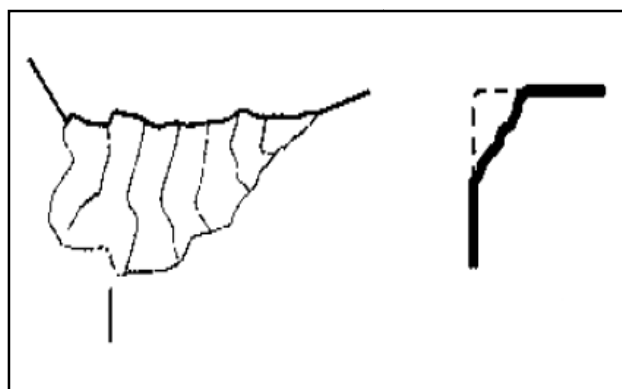
Vydrolování ostří se nejčastěji vyskytne při přerušovaném řezu, kdy se břit nerovnoměrně vydroluje. Toto poškození břitu je způsobeno špičkami zatížení a vede k tomu, že drobné částice řezného materiálu se začnou oddělovat z povrchu břitu.



Obr. 8 Vydrolování ostří

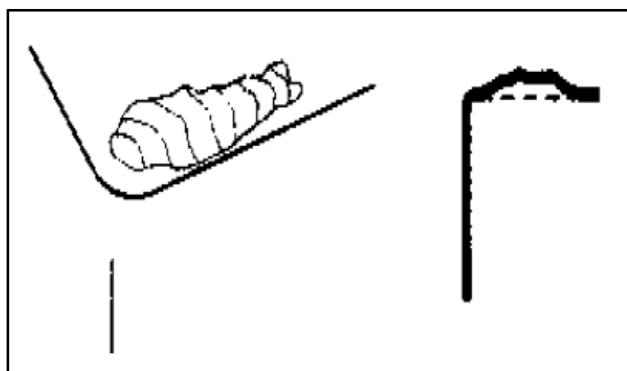
Odlupování materiálu a trhliny, které se na ostří projeví, jsou předzvěstí možného lomu břitu. [2,12]

Lom břitu nástroje je druh opotřebení, při kterém je okamžitě ukončena jeho schopnost obrábět. Totální lom je často velmi nebezpečný a nežádoucí, je nutné mu předcházet, aby nedošlo k velkým škodám. Lom je často vinou málo houževnatého materiálu břitu nástroje.



Obr. 9 Lom břitu nástroje

Tvorba nárůstku je ovlivňována především řeznou rychlostí a teplotou při obrábění. Nízké teploty a vysoké tlaky vyvolávají mezi materiálem třísky a čelem nástroje efekt svařování, při kterém vzniká nárůstek. Tvorba nárůstku způsobí



Obr. 10 Tvorba nárůstku

zhoršení kvality obrobeneho povrchu a při vzniku velkého nárůstku může dokonce dojít k lomu břitové destičky. [2,12]

Problém	Řešení								
	Snižte řeznou rychlost	Zvyšte řeznou rychlost	Snižte posuv na zub	Zvyšte posuv na zub	Zvolte VBD s vyšší odolností proti opotřebení	Zvolte houževnatější VBD	Použijte frézu s větší roztečí	Změňte polohu frézy	Nepoužívejte chlazení
Opotřebení hřbetu	X			X	X				
Vrubové opotřebení	X			X	X				X
Žlábkové opotřebení	X				X				
Plastická deformace	X		X		X				
Nárůstek na břitu		X		X					X
Trhliny kolmé k břitu	X					X			X
Malé vylomení ostří		X				X			X
Zlomení VBD			X			X		X	
Vibrace				X			X	X	
Špatná jakost obroběného povrchu		X	X		X				

Obr. 11 Řešení pro nejběžnější problémy při frézování

1.2. Rozbor metod zjišťování otupení nástroje

Při současném tempu automatizace obrábění, je velice důležité sledovat stav otupení řezného nástroje. Z funkčních částí soustavy nástroj nejvíce podléhá deformacím a je nutné mu věnovat pozornost. Spolehlivost je důležitá vlastnost řezného nástroje, souvisí bezprostředně se stavem ostří a se schopností plnit požadovaná technologická kritéria. Tyto parametry ovlivňují jeho efektivní využití ve výrobním procesu a jeho trvanlivost. [3]

Sledováním stavu nástroje je možné:

- zabránit poškození nástroje a následnému poškození obráběcího stroje i při vysokých řezných parametrech, kdy obsluha stroje už nestačí reagovat
- optimálně využít nástroj, protože jeho výměna se uskuteční při dosažení skutečného a ne předpokládaného stupně opotřebení
- snížení strojního času
- signalizovat opotřebení nebo poškození nástrojů

Pro zjišťování velikosti otupení se používají metody přímé i metody nepřímé:

1.2.1. Přímé metody měření velikosti otupení v průběhu obrábění není snadné aplikovat v důsledku toho, že otupující se plochy jsou nedostupné pro měřicí přístroje. Z tohoto důvodu je nutné pro změření otupení proces obrábění ve většině případů přerušit. Kromě toho se ve většině případů břitová destička musí vyjmout z těla nástroje, což potom opět přináší další změny podmínek obrábění při následujícím ustavení a upnutí obráběcího nástroje. Mezi metody takového charakteru stanovení velikosti otupení patří následující metody: [3]

Metoda mikrometrická

Měří se lineární charakteristiky otupení na čele i na hřbetu pomocí lup, měřících a optických mikroskopů. [3]

Metoda optická

Spočívá v tom, že se na čelo nože umístí rýhovaná skleněná destička. Při dopadu světla pod úhlem 45° je možné odměřit výšku stínu, který vrhá tmavá drážka na skle na dno žlábků. Při této metodě se používá mikroskop se světelným zařízením. [3]

Metoda hmotnostní

Zjišťuje se rozdíl hmotností břitové destičky před a po otupení a stanoví se chybějící objem břitové destičky po otupení. [3]

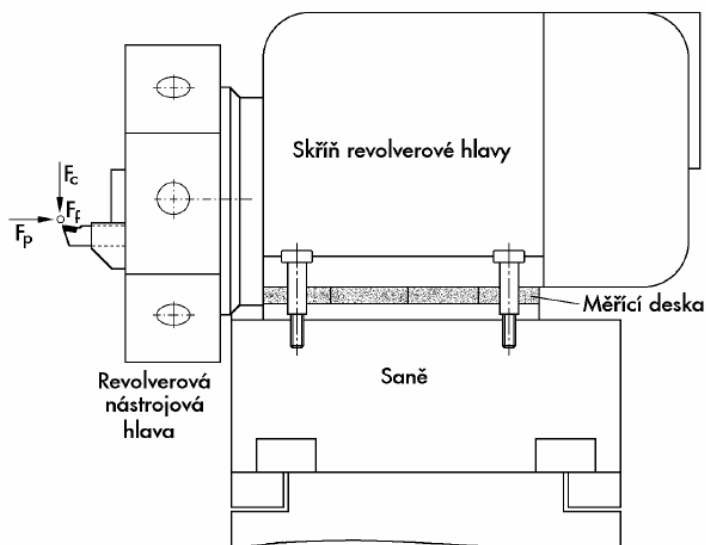
Dotykové a testovací systémy

Jsou to spolehlivé systémy monitorování stavu nástroje a lomu jeho břitu, pracující v dobách přerušování obrábění. Jsou zde používány mechanické dotyky, optické, pneumatické, popř. indukční snímače, které měří geometrický tvar nástroje a tak detekují lomy, popř. vyštípnutí břitu. [3]

1.2.2. Nepřímé metody kontrolování stavu břitu nástroje, proti přímým metodám jsou prakticky používány systémy, které zjišťují během procesu obrábění stav opotřebení nástroje a tak pomáhají zabránit i lomům nástrojů a tím i poškození obráběcího stroje a zmetkovitosti obrobků. [3]

Systémy založené na měření sil obrábění

Síly obrábění a momenty popisují totiž aktuální průběh procesu a tím také stav nástroje. Dlouhodobé pokusy potvrdily, že obecně síly obrábění, obzvláště pak pasivní složka, s rostoucím opotřebením břitu rostou. Na chování charakteristických veličin



Obr. 11 Systém založený na měření řezných sil [3]

řezného procesu má veliký vliv párování materiálu obrobku a nástroje. Vycházíme-li od ostřího břitu nástroje a jdeme až k mezi opotřebení, kterou lze vyjádřit mezní hodnotou opotřebení čela nebo hřbetu nástroje, řezná složka síly obrábění se posouvá. Přesto je však monitorování opotřebení břitu měřením sil obrábění obecně možné pouze u hrubovacích operací, neboť zde jsou změny sil výrazné. Při obrábění na čisto, kdy jsou hloubky řezu často jen několik desetin mm, nejsou změny sil obrábění zjištěitelné. [3]

Systémy založené na měření zvuku nebo ultrazvuku

Vedle přímých signálů z procesu ve formě sil obrábění a momentů lze pro sledování procesu využít také snímání hlukových signálů. Na základě analýzy průběhu hladiny vysílaného zvuku a ultrazvuku lze předpovídat časový vznik havárie na základě monitorování změn stavu všech prvků systému "stroj-nástroj-obrobek", které by mohly ohrozit kvalitu obrobku. Základním zdrojem vysílání je zóna řezání. Vlivem otupení břitu nástroje hladina zvuku stoupá, což lze s výhodou využít pro sledování opotřebování nástroje i pro přizpůsobivé řízení výrobních strojů. Pro systémy s automatickou výměnou nástrojů se musí uplatnit bezkontaktní způsob měření. Princip sledování je založen na kontrole mezních hodnot, resp. jejich překročení. [3]

Systémy založené na analýze chvění

Chvění obráběcích strojů lze vedle výše popsaných silových metod a metod snímání zvukových signálů, využít k monitorování a diagnostikování průběhu obráběcích procesů na strojích, jejich vývoj ještě není tak pokročilý jako u systémů monitorování sil obrábění. [3]

1.3. Trvanlivost břítu nástroje:

Trvanlivost je doba, po kterou je nástroj schopen plnit dané úkoly během procesu obrábění, a je tedy určena časem od nasazení nového břítu po dané kritérium opotřebení, která ukončí životnost břítu. Nejčastěji se používají kritéria opotřebení v rozmezí 0,3 mm až 0,8 mm. [2]

Pro určení vzniku poruchy napoví tyto parametry:

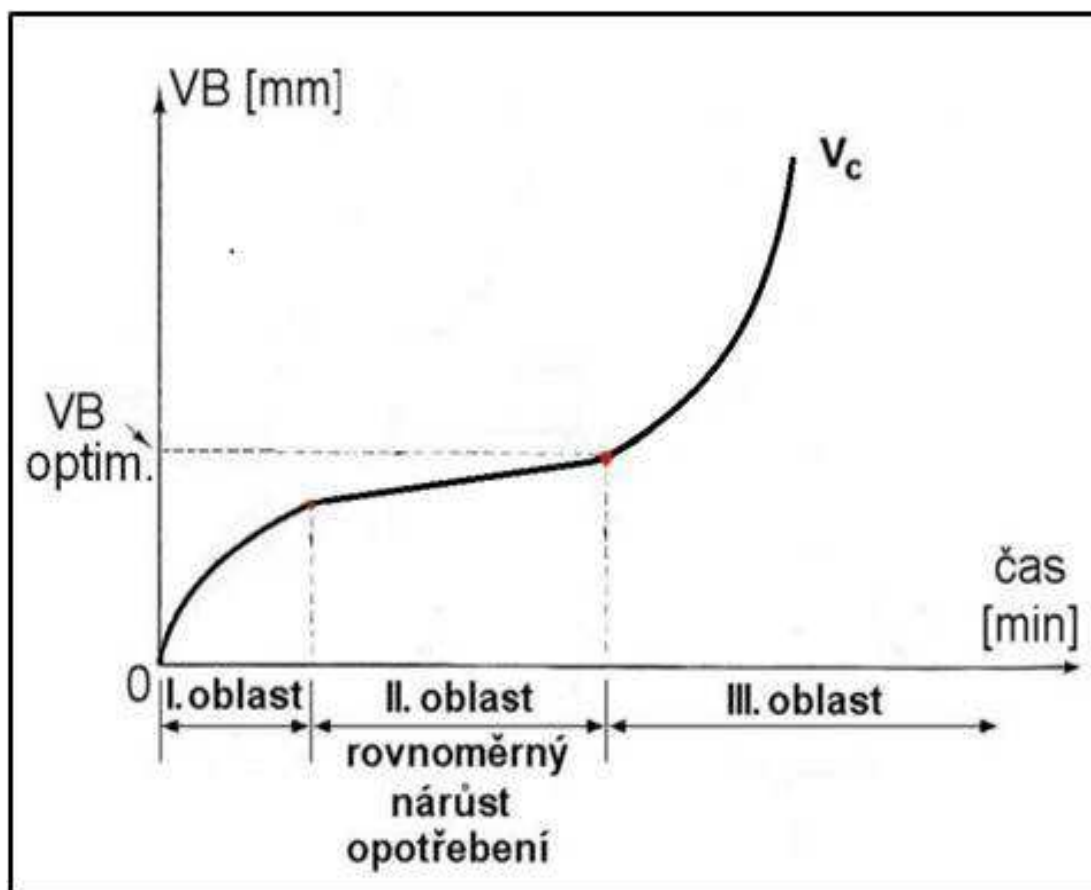
- kvalita povrchu obrobené plochy
- utváření třísky
- opotřebení břítu
- nepřesnost rozměru obrobené plochy
- velikost řezné síly

Na trvanlivost břítu nástroje mají vliv tyto faktory:

- obráběný materiál
- materiál nástroje (břítu)
- řezné podmínky (řezná rychlost, posuv, hloubka záběru)
- zvolené procesní prostředí a typ chlazení
- geometrie, tvar a rozměry nástroje
- tuhost soustavy (stroj, nástroj, obrobek, přípravek)
- druh namáhání nástroje

Oblasti opotřebení:

- I. Oblast rychlého záběhového nárůstu opotřebení, vlivem srovnání mikronerovností hřbetu. Tento jev je typický u nově naostřených nástrojů.
- II. Oblast rovnoměrného nárůstu opotřebení, mikronerovnosti jsou srovnány a otupení narůstá lineárně. Tato oblast je považována za pracovní úsek.
- III. Oblast rychlého lavinového nárůstu opotřebení, během krátké doby dojde ke zničení břítu a ukončení trvanlivosti nástroje.



Obr. 12 Časový průběh otupení bříty

1.4. Taylorův vztah

Tento vztah udává závislost trvanlivosti bříty T na řezných podmínkách. [1]

Taylorův vztah v komplexním tvaru:

$$T = \frac{C_T}{v_c^m \cdot a_p^x \cdot f^{YT}} = [\text{min}]$$

Taylorův vztah ve zjednodušeném tvaru:

$$T = \frac{C_T}{v_c^{m_T}} \quad [\text{min}]$$

Také se uvádí ve tvaru:

$$v_c = \frac{C_V}{T^{\frac{1}{m_T}}} \quad [\text{min}]$$

Kde: $C_V = C_T^{\frac{1}{m_T}}$ [min]

V_c [m/min] – řezná rychlost

a_p [mm] – tloušťka třísky

f [mm/ot] – posuv

C_T [-] – konstanta závislá na materiálu obrobku

X, Y [-] – exponenty

m [-] – koeficient závislejší na materiálu bříty:

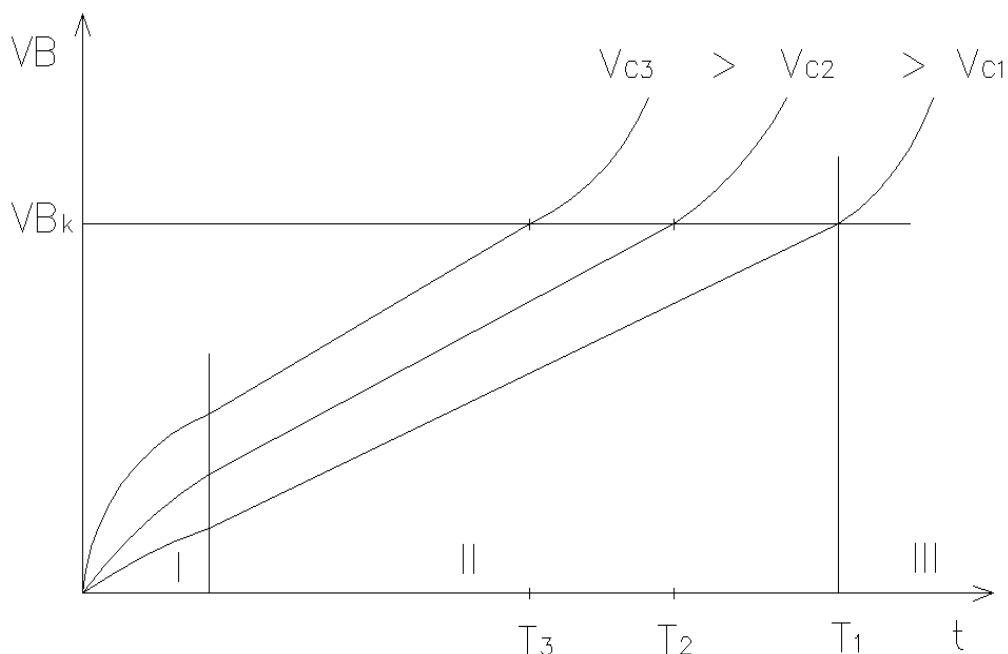
řezná keramika 1,5-2,5

slinuté karbidy 2,5-5

rychlořezné oceli 5-8

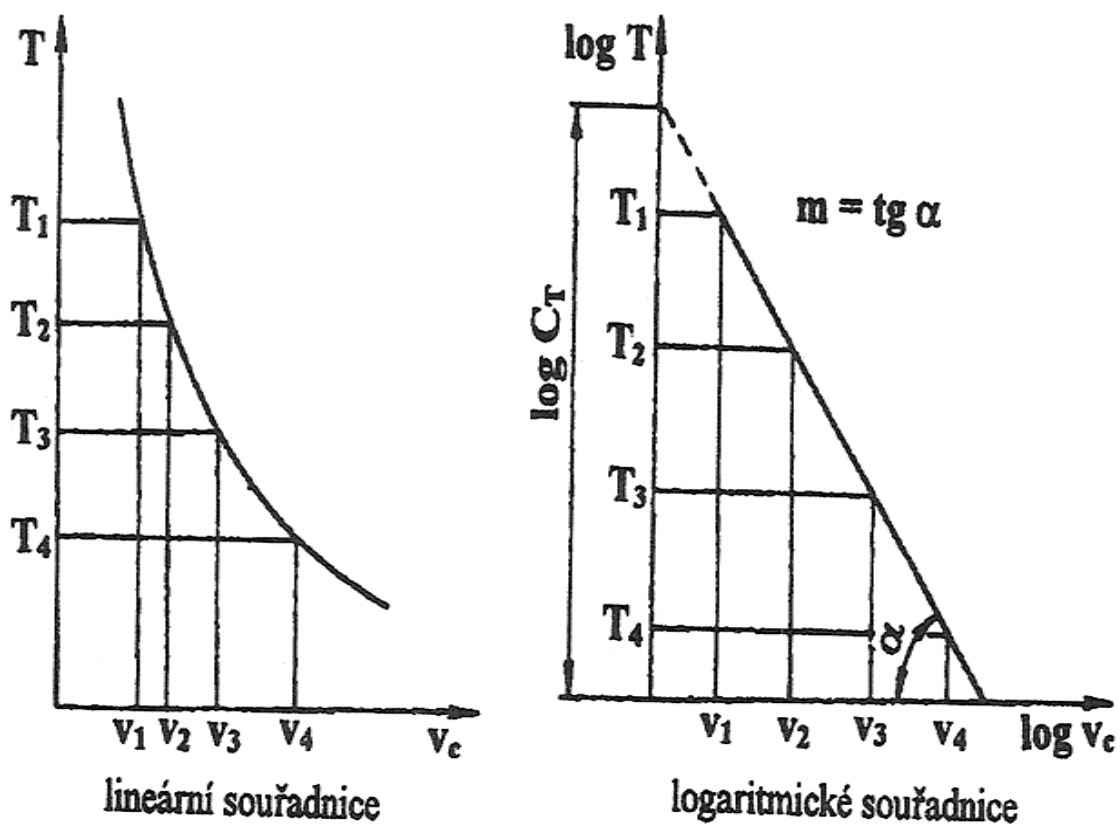
nástrojové oceli 8-10

Při zvolených řezných rychlostech V_c se stanoví trvanlivost bříty T , pro kritické kritérium opotřebení bříty, kde $T_1 > T_2 > T_3$ a $v_{c1} > v_{c2} > v_{c3}$ [1]



Obr. 13 Určení trvanlivosti bříty T [4]

Na trvanlivost nástroje má největší podíl z řezných podmínek řezná rychlost. Chceme-li zvýšit trvanlivost, musí se snížit řezná rychlost a naopak. Vynesením těchto hodnot do grafů získáme následující křivky. Hodnoty se mohou vynést jak v lineárních souřadnicích tak i v logaritmických. [1]



Obr. 14 Průběhy závislostí [4]

2. KLASIFIKACE PROCESNÍCH KAPALIN PRO OBRÁBĚNÍ, VLASTNOSTI A CHARAKTERISTIKY PROCESNÍCH KAPALIN, ANALÝZA VLIVU PROCESNÍCH KAPALIN NA TRVANLIVOST NÁSTROJE PŘI FRÉZOVÁNÍ.

2.1. Klasifikace procesních kapalin pro obrábění

Procesní kapaliny se dělí do dvou základních skupin, a to s převyšujícím chladícím nebo mazacím účinkem. Dnes je toto rozdělení zanedbatelné, jelikož se stávající výrobci procesních kapalin snaží vyvíjet kapaliny takové, kde se prolnou tyto dva účinky současně. [5]

Řezné kapaliny se dále dělí:

- vodní roztoky
- emulzní kapaliny
- řezné oleje
- syntetické a polysyntetické kapaliny

2.1.1 Vodní roztoky

Tyto roztoky jsou nejlevnější a nejjednodušší řezné kapaliny, ale další pozitivní vlastnosti už nemají. Před použitím těchto roztoků se musí udělat řada úprav. Základní přísady jsou změkčovadla, přísady proti korozi a pěnivosti, přísady pro zlepšení smáčivosti. Roztoky na vodní bázi musí být vždy alkalické. Nevýhodou těchto roztoků je případné rozmnožování bakterií, následný kal a zápach kapaliny. Tyto roztoky se vyznačují velmi dobrým chladícím a čistícím účinkem, ale s minimálním mazacím účinkem. [5]

2.1.2 Emulzní kapaliny

Emulzní kapaliny jsou disperzní soustavy jemných kapek oleje rozptýlených ve vodě. Aby se tato směs stabilizovala, musí se přidat další přísady, které jsou tzv. emulgátory zmenšující mezipovrchové napětí, inhibitory koroze, biocidy, fungicidy, odštěňovače a aditiva která zlepšují proces obrábění. Tyto kapaliny slučují přednosti vody a mazacích olejů, ale s přibývajícím koncentrací olejů klesá chladící účinek. Emulze jsou nejpoužívanější řeznými kapalinami. [5]

2.1.3 Řezné oleje

Řezné oleje jsou minerální oleje, ponejvíce zušlechtnuté přísadami zvětšující mazací účinek a tlakovou únosnost. Jejich účinek je především mazací a používá se jich při požadavku velké trvanlivosti ostří nástroje, malé drsnosti obráběného povrchu. [5]

2.1.4 Syntetické a polysyntetické kapaliny

Tyto řezné kapaliny se vyznačují velkou provozní stálostí. Nejčastěji jsou rozptýlené ve vodě. Jejich výhody jsou v dobrých mazacích, chladicích a ochranných účincích. Tyto kapaliny neobsahují minerální oleje, jejich hlavní složkou jsou rozpouštědla (glukoly), které se ve vodě rozpustí nebo emulgují.

Syntetické řezné kapaliny umožňují rovněž rozptýlení olejů, čímž vznikne polysyntetická kapalina, která má velice příznivé mazací schopnosti. [5]

2.2. Vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin

- Chladicí účinek
- Mazací účinek
- Čistící účinek
- Provozní stálost
- Ochranný účinek
- Přiměřené náklady
- Zdravotní nezávadnost

Chladicí účinek vyjadřuje schopnost řezné prostředí odvádět teplo z místa řezu. Chladicí účinek má každé prostředí, které je schopné se smáčet s povrchem kovů, nastane tepelný spád a odvod tepla. Teplo se odvede z nástroje, obrobku a třísky. Díky odvodu tepla se sníží teplota řezu a tím se zlepší trvanlivost nástroje a kvalita obrobené plochy. Účinek chlazení závisí na smáčecí schopnosti, výparném teple, tepelné vodivosti a průtokovém množství chladicí kapaliny. Vysoké odpaření řezné kapaliny je nežádoucí. [5]

Mazací účinek je schopnost řezné kapaliny vytvořit na nástroji a obrobku tenkou vrstvu, která zapříčiní přímému styku nástroje a obrobku. Snížením tření se zmenší i řezné síly, snížení spotřeby energie, zlepšení kvality obrobené plochy a také se sníží plastické deformace v místě řezu. Mazací schopnost řezné kapaliny na viskozitě a pevnosti vzniklé mezní vrstvy. Negativně se projeví vyšší viskozita, která zhorší průnik kapaliny do místa řezu, odvod tepla a tím i její proudění. U kapalin s vyšší viskozitou se také projeví vyšší ztráty, kapalina zůstává na třískách. Pevnost mazací vrstvy se dá zlepšit přísadami povrchově aktivních látek, které pronikají do trhlin a usnadňují proces obrábění. [5]

Čistící účinek řezné kapaliny je důležitý k odplavení třísek z místa řezu. Důležité je, aby byla kapalina řádně vyčištěna pomocí čistících a filtračních zařízení, než se vrátí zpět do místa řezu. Špatně vyčištěná kapalina by mohla zapříčinit zhoršení kvality obrobené plochy. Čistící účinek je nejvíce znatelný při broušení, řezání závitů a vrtání hlubokých děr. [5]

Provozní stálost řezné kapaliny je dána dobou, kdy musí být vyměněna. Kapalina po dlouhodobém používání může ztratit své kladné vlastnosti a tím se znehodnotí a zhorší se i kvalita obrobené plochy, trvanlivost nástroje. [5]

Ochranný účinek dbá na to, aby obrobky nepodléhaly korozi mezi jednotlivými úseky výroby, toho se dá docílit pomocí přísad, které ochrání obrobky proti korozi. Dalším důležitým ochranným požadavkem procesních kapalin je aby nerozpouštěly nátěry, gumové a plastové díly stroje. [5]

Přiměřené náklady jsou nejvíce spjaty se spotřebou řezné kapaliny. Při zavádění nové kapaliny do výroby se musí provést rozbor nákladu a zjistit jaké příznivé vlivy má na proces obrábění. Musí se brát ohled i na její provozní stálost, spotřebu a také brát v potaz i náklady na její případnou likvidaci. [5]

Zdravotní nezávadnost je důležitá z pohledu obsluhy, obsluha přijde skoro vždy do styku s procesní kapalinou. Proto nesmí být řezná kapalina zdraví škodlivá a nesmí obsahovat jedovaté látky a látky dráždivé pokožku a sliznici. Z těchto aspektů je nutné dbát na základní hygienická opatření. [5]

2.3.Vliv procesních kapalin na trvanlivost nástroje při frézování

Použití procesních kapalin při hrubovacím frézování není efektivní z důvodu změn teplot břitu, jak břit vstupuje do záběru a zase z něj vystupuje, je vystaven tepelným cyklickým rázům. Tento aspekt může mít za následek vznik trhlin a následovně destrukci nástroje. Čím vyšší vznikne teplota v místě řezu, tím je méně vhodné použít procesní kapalinu.

U dokončovacích operací procesní kapalina nemá tak negativní vliv na životnost nástroje jako u hrubování, jelikož se odebírá menší tříska a vzniká menší množství tepla. Procesní kapalina při dokončování má pozitivní vliv na jakost obrobené plochy, zejména pro dobrý odvod třísek. [2]

Důvody pro použití chladicí kapalina při frézování:

- Odstraňování třísek, hlavně při frézování stopkovými frézami a při vrtání.
- Chlazení obrobku z důvodu zajištění přesnosti rozměrů
- Zlepšení jakosti obrobené plochy
- Vázání a odplavování prachu a třísek při obrábění šedé litiny
- Spolehlivé vyplavování třísek z přípravků.
- V případech kdy na jedno upnutí se obrábí dalšími nástroji, u kterých je nutné použít chladicí kapalinu použít.

Pokud je nutné pracovat s PK jsou důležité následující body:

- Břity by mely být neustále chlazeny velkým množstvím řezné kapaliny.
- Je nutné zvolit vhodný druh slinutého karbidu.
- Druh chladicí kapaliny by měl být přizpůsoben obrábění.

3. DEFINICE POJMU INTEGRITY POVRCHU, METODY MĚŘENÍ

3.1. Definice pojmu integrity povrchu

Proces obrábění je velice rozmanitý proces, který na sebe váže celou řadu závislostí, podmínek a omezení. Technologie obrábění zahrnují celou škálu strojů a nástrojů, ale mají jedno společné. Při všech obráběcích procesech vzniká nový povrch. Tento povrch se nazývá obrobená plocha, která má určité vlastnosti. Tyto vlastnosti jsou závislé na použité technologii, stanovených řezných podmínkách a řezném prostředí. Existuje tedy mnoho faktorů, které musí být uvažovány, aby se zachovaly parametry jednotlivých složek integrity povrchu a nedošlo k negativním vlivům. [7]

Na integritu povrchu obrobené plochy mají největší vliv tyto faktory:

- drsnost povrchu
- mikrotvrdost
- povrchové napětí
- fázové změny

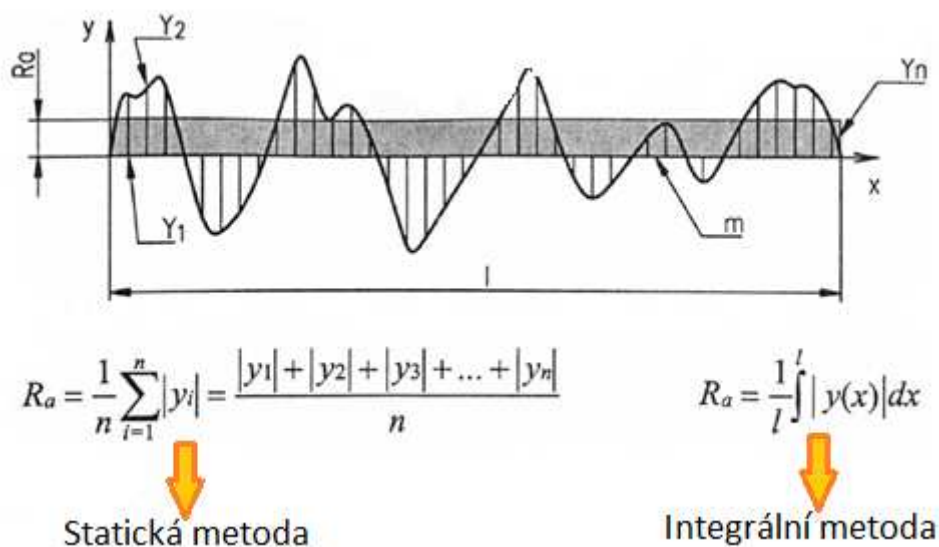
3.1.1. Drsnost povrchu

Je to důležitý faktor zejména pro dynamicky namáhané součásti. Horší jakost kvality povrchu má nepříznivé účinky na únavu materiálu. Obrobená plocha není nikdy ideálně hladká a určují ji stupně drsnosti. Tyto stupně se určí mikronerovnostmi vzniklými při obrábění. Drsnost povrchu je způsobena stopami od břitu nástroje. [6,8]

Drsnost závisí především na těchto vlivech:

- Druh obráběného materiálu
- Materiál a tvar břitu nástroje
- Způsob obrábění
- Řezné podmínky
- Tuhost soustavy stroj, nástroj, obrobek a přípravek
- Procesní prostředí
- Opotřebení nástroje

Metodika hodnocení drsnosti povrchu udává norma ISO 486:



Obr. 15 Metodika hodnocení drsnosti povrchu [6,8]

Parametry určující drsnost povrchu:

R_a - střední aritmetická úchylka profilu

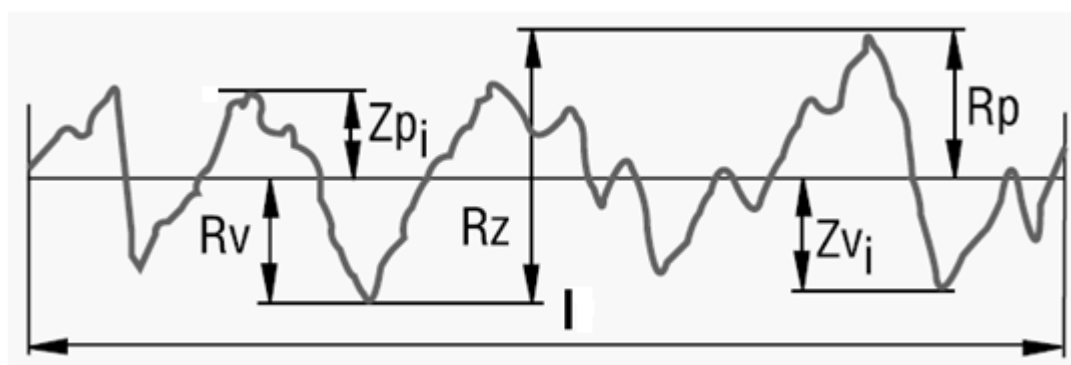
R_z - největší výška profilu

R_p - největší výška výstupku

R_v - největší hloubka prohlubně profilu

C_{tp50} - hloubka, ve které je podíl materiálu 50% a okolního vzduchu 50%

l - délka měřeného vzorku



Obr. 16 Výškové parametry profilu R_v , R_z , R_p

3.2. Metody měření drsnosti povrchu

Jsou tři základní metody pro měření drsnosti a to porovnávací metodou, dotykovou a bezdotykovou metodou. [9]

3.2.1. Porovnávací metoda

Nejprimitivnější metoda je založená na lidských smyslech, posuzuje obrobenou plochu s příslušnými etalony se stejnou hodnotou drsnosti. Toto se používá pro orientační měření ve výrobě. [9]

Při této metodě se musí dodržet jistá pravidla:

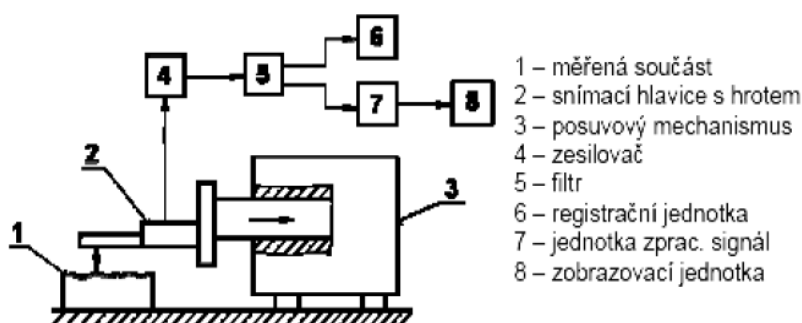
- stejný nebo podobný materiál obou porovnávaných vzorků
- určit stejný směr trajektorie obrábění vzorků
- porovnávat vzorky za stejných pozorovacích podmínek

3.2.2. Bezdotyková metoda

Tato metoda je založena na světelném řezu. Světelný paprsek prochází soustavou čoček objektivu pod úhlem 45° na měřený povrch. Vznikne obraz profilu šikmého řezu nerovností plochy, který se dále pozoruje. Pomocí speciálních okulárů je možné odečíst příslušné hodnoty, které se dále vyhodnocují. [9]

3.2.3. Dotyková metoda

Dotykové profiloměry jsou nejdokonalejšími a nejrozšířenějšími přístroji pro měření drsnosti. Základem této metody je dotyk, který se posouvá po měřeném vzorku. Dotyk zaznamenává výškové změny způsobené nerovnostmi povrchu. Informace z dotyku se přes speciální vyhodnocovací jednotky zpracují a v příslušném softwarovém vybavení se snadno vyhodnotí veškeré výsledky a charakteristiky drsnosti povrchu. [9]



Obr. 17 Princip měření dotykovým profilometrem[9]

4. NAVRŽENÍ METODIKY ZKOUMÁNÍ TRVANLIVOSTI NÁSTROJE A DRSNOSTI POVRCHU PŘI FRÉZOVÁNÍ KONSTRUKČNÍ OCELI V LABORATOŘÍCH KOM FS TUL.

4.1. Popis použitých strojů a přístrojů

Nástrojová frézka FNG 32

Veškeré obrábění se bude provádět na nástrojařské frézce FNG 32, výrobce tohoto stroje je TOS Olomouc s.r.o. Tato frézka je vybavená číslíkovou indikací polohy pro lepší odečítání ujetých drah.

Upnutí nástroje zajišťuje pneumaticko-hydraulické zařízení. Na tomto stroji je možné frézovat, vrtat, vyvrtávat a závitovat. Je vhodný pro malosériovou výrobu.

Technické parametry stroje (podrobněji v příloze 1):

Výkon hlavního motoru:		4,0	[kW]
Řazení otáček		plynulé	
Vertikální vřeten:	rozsah otáček	50-4000	[ot/min]
Hmotnost:		2500	[kg]
Pracovní zdvih:	podélný (X)	600	[mm]
	příčný (Y)	400	[mm]
	svislý (Z)	400	[mm]



Obr. 18 Frézka FNG32 a detail ovládacího panelu s displejem

Fréza

Pro obrábění byla použita čelní rovinná fréza o průměru 63 mm s 5 lůžky pro břitové destičky od firmy NAREX.



Obr. 19 Čelní fréza

Vyměnitelné břitové destičky (VBD)

Na doporučení od firmy PRAMET Tools, s.r.o. pro materiál 14220.3 byly zvoleny břitové destičky označené SNUN 120412; S30

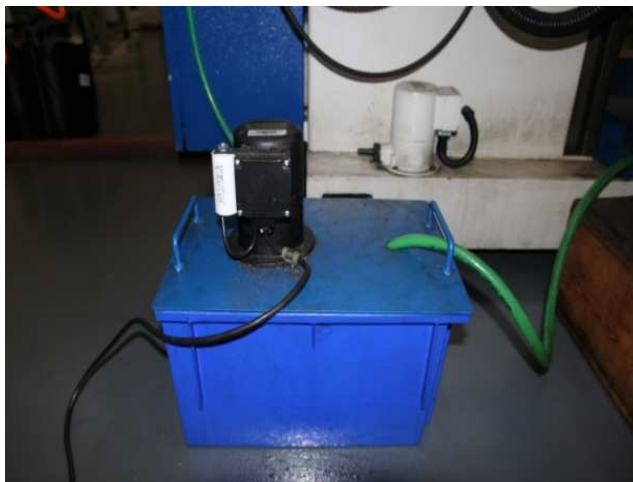
Více informací v příloze 2.



Obr. 20 Břitové destičky PRAMET

Chladicí zařízení

K dopravě procesní kapaliny do místa řezu bylo použito externí čerpadlo a nádrž, které se připojilo na chladicí okruh univerzální frézky FNG 32. Použitím tohoto zařízení se usnadnila výměna procesních kapalin.



Obr. 21 Chladicí zařízení

Refraktometr

Přístroj určený pro měření koncentrace procesní kapaliny. Refraktometr Optech Brix pro rozsah koncentrace 0 – 18% s přesností na 0,1%.



Obr. 22 Refraktometr Optech Brix

Mikroskop Arsenal SZP 3112-T

Pomocí tohoto mikroskopu byly nafoceny opotřebené břity VBD, je vybaven speciálním osvětlovacím zařízením a laboratorní kamerou LABO 3MP, která je propojena s osobním počítačem, kde se pořízené fotky zobrazí v programu Minisee.



Obr. 23 Osobní počítač a Mikroskop Arsenal SZP 3112-T

Nástrojová lupa Brinell

Velikost opotřebení bylo měřeno nástrojovou lupou Brinell (Obr. 24). Její zvětšení je 24x se stupnicí po 0,05 mm.



Obr. 24 Nástrojová lupa Brinell

Laboratorní profiloměr Mitutoyo Surftest SV-2000 N2

Pro měření drsnosti byl použit dotkový laboratorní profiloměr Mitutoyo Surftest SV-2000 N2 a osobní počítač. Uživatelské rozhraní v počítači obstarává program Surfpack, výstupy jsou ve formě grafické, tak i datové.



Obr. 25 Profiloměr Mitutoyo Surftest SV-2000 N2

Procesní kapaliny

Procesní kapaliny pro tento experiment dodala firma PARAMO a.s. s doporučenou koncentrací 5 %

PARAMO ESOK 1.0D

PARAMO ESOK 1.0E

PARAMO ESOK 1.0F

PARAMO ESOK 1.1B

PARAMO ESOK 1.1D



Obr. 26 Dodané procesní kapaliny od firmy PARAMO a.s.

Obráběný materiál – 14220.3

Ocel Mn-Cr k cementování a ke kyanování. Ocel je dobře tvářitelná za tepla, po žhání na měkko i za studena, se zaručeným rozmezím prokalitelnosti. Je dobře obrobitelná - pro hladké obrábění se doporučuje ocel zušlechtěná na pevnost 690 - 880 MPa. Je vhodná pro strojní součásti pro zušlechtění do Ø 35 mm, k cementování s velmi tvrdou cementovanou vrstvou s velkou pevností v jádře (hřídele, ozubená kola, vačkové hřídele, zdviháky ventilů, pístní čepy, zubové spojky).

chemické složení

Cr 0,8-1,10 [%]

C 0,14-0,19 [%]

Mn 1,10-1,40 [%]

mechanické vlastnosti

HB 239 [-]

R_m 785 [MPa]

R_e 590 [MPa]

Více informací o materiálu v příloze 3.

4.2. Navržení metodiky zkoumání trvanlivosti nástroje

4.2.1. Příprava měření

Použité stroje a přístroje:

- Frézka FNG 32
- Fréza o \varnothing 63 mm
- Břítové destičky SNUN 120412; S30
- Nástrojová lupa Brinell
- Ruční refraktometr Brix 0-18% ATC

Příprava univerzální frézky FNG 32

Příprava frézky nebyla nijak složitá, stačilo zajistit přívod tlakového vzduchu do systému upínání nástroje. Ve stroji byl nástroj již upnut z předchozího experimentu, stačilo ho osadit břítovou destičkou SNUN 120412; S30. Následně se pomocí upínek připevnil svěrák na pracovní stůl frézky.

Příprava materiálu

Pro tento experiment byl dodán materiál 14220.3 ve čtvercovém průřezu 80 mm a délky 1000 mm. Z důvodu rozsahu posuvu stolu frézky musel být přepůlen na délku 500 mm. Tato operace se uskutečnila na pásové pile v laboratoři KOM, na závěr se vložil do svěráku, řádně vyrovnal a upnul.



Obr. 27 Materiál upnutý ve svěráku

Příprava procesních kapalin

Z dodaných emulzních olejů od firmy PARAMO a.s. je nutné namíchat 5% roztoky vody a oleje. Příprava proběhla tak, že do připravené nádoby se nalila voda, do které se pomalu přiléval emulzní olej, až se dosáhlo požadované koncentrace. Koncentrace se měří pomocí refraktometru (obr. 22). Hodnota pro refraktometr se musela dopočítat z refrakčního faktoru a koncentrace.

$$r = \frac{c}{K}$$

K – refrakční faktor

r – hodnota na refraktometru

c – požadovaná koncentrace

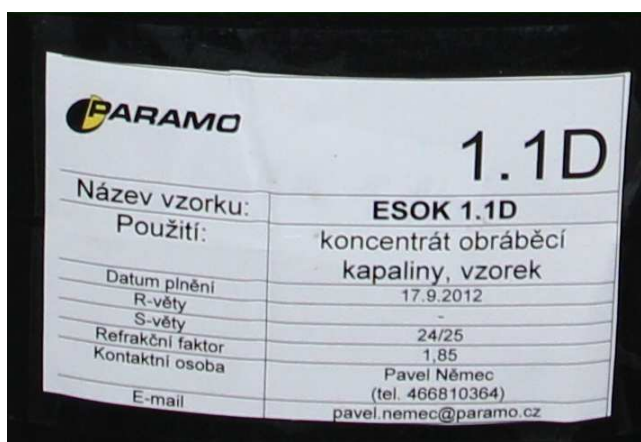
Příklad výpočtu:

kapalina ESOK 1.1D

K – 1,85

c – 5%

$$r = \frac{5\%}{1,85} = 2,7\%$$



Obr. 28 Štítek barelu dodaných kapalin

Koeficienty kapalin:

○ PARAMO ESOK 1.0D	K = 3	r = 1,667 %
○ PARAMO ESOK 1.0E	K = 3,1	r = 1,61 %
○ PARAMO ESOK 1.0F	K = 3,1	r = 1,61 %
○ PARAMO ESOK 1.1B	K = 2,1	r = 2,38 %
○ PARAMO ESOK 1.1D	K = 1,85	r = 2,7 %

Správná koncentrace kapalin byla kontrolována i v průběhu obrábění aby nedošlo na základě špatné koncentrace k ovlivnění výsledků. Použité kapaliny byly nality do nádob, určených k ekologické likvidaci.

Řezné podmínky

Řezné podmínky se volily podle doporučené řezné rychlosti břitové destičky a obráběného materiálu.

$$v_c = 85 \quad [\text{m/min}]$$

$$a_p = 1 \quad [\text{mm}]$$

$$f_z = 0,1 \quad [\text{mm}]$$

$$f = 44 \quad [\text{mm/min}]$$

$$n = 440 \quad [\text{ot/min}]$$

4.2.2. Postup při obrábění

Do nástroje byla usazena pouze jedna nová břitová destička. Pomocí posuvů a rychloposuvů stroje bylo najeto na požadovanou hloubku $a_p = 1\text{mm}$ a šířku záběru, která odpovídala přibližně polovině průměru frézy. Spustily se otáčky vřetene ve správném smyslu otáčení pro nesousledné frézování, následovalo spuštění pracovního posuvu ve směru osy X, když nástroj začal pracovat, zastavil se pracovní posuv a na ovládacím panelu stroje se vynulovaly souřadnice ve všech třech směrech.



Obr. 29 Samotný proces obrábění při zkoumání trvanlivosti nástroje

Pokud byla vyžadována procesní kapalina, pustilo se chlazení a tryska byla nasměrována do místa řezu. Opět se pustil pracovní posuv v podélné ose X. Po přejetí celého obrobku se vyjmula z lůžka břitová destička a přímo u stroje se

změřilo opotřebení břitů nástrojovou lupou Brinell, před vrácením destičky do nástroje je důležité lůžko důkladně vyčistit, aby nedošlo ke špatnému usazení. Tento postup se opakoval až po dosažení kritéria opotřebení hřbetu břitů.

Kritérium opotřebení bylo zvoleno $VB_{\max} = 0,7$ mm. V některých případech bylo nutné zastavit proces obrábění před přejetím celé délky, aby nedošlo k překročení tohoto kritéria. Stádium stavu opotřebení se dalo orientačně určit z rázů, hluku a chvění stroje.

Celkem se uskutečnilo 5 zkoušek pro každé prostředí (ESOK 1.0D, ESOK 1.0E, ESOK 1.0F, ESOK 1.1D, ESOK 1.1B, vodu a obrábění bez PK).

4.3. Navržení metodiky zkoumání drsnosti povrchu

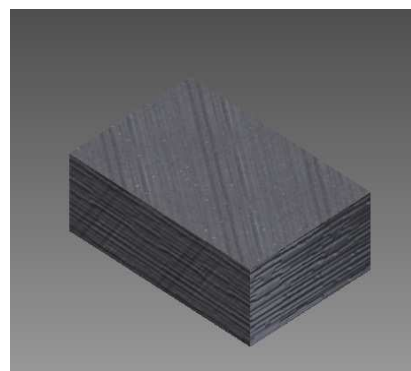
4.3.1. Příprava měření

Použité stroje a přístroje:

- Frézka FNG 32
- Fréza o \varnothing 63 mm
- Břítová destička SNUN 120412; S30
- Drsnoměr Mitutoyo SV-2000
- Osobní počítač s programem Surfpak
- Ruční refraktometr Brix 0-18% ATC

Příprava Materiálu:

Materiál byl použit stejný jako u zkoušek trvanlivosti 14220.3 jen s rozdílem, že byly na pásové pile v laboratoři KOM nařezány malé vzorky ve tvaru kvádra o rozměrech 20 x 30 x 10 mm. Na všechny vzorky byla vyražena čísla pro bezpečné rozeznání.



Obr. 30 Vzorek pro měření drsnosti

Příprava kapalin:

Využity byly kapaliny, které zbyly po zkouškách trvanlivosti. S jediným rozdílem, že nebylo využito chlazení stroje, ale byly nality do PET lahví se speciálním náustkem, kterým byla řezná kapalina přivedena do místa řezu.

Řezné podmínky

Řezné podmínky se volily podle doporučené řezné rychlosti břitové destičky. Byla zvolena menší rychlost než u zkoušek trvanlivosti, aby se neprojevovalo opotřebení břitu na kvalitu drsnosti a aby se dala dopravovat kapalina do místa řezu v dostatečném množství.

$$v_c = 60 \quad [\text{m/min}]$$

$$a_p = 1 \quad [\text{mm}]$$

$$f_z = 0,1 \quad [\text{mm}]$$

$$f = 30 \quad [\text{mm/min}]$$

$$n = 300 \quad [\text{ot/min}]$$

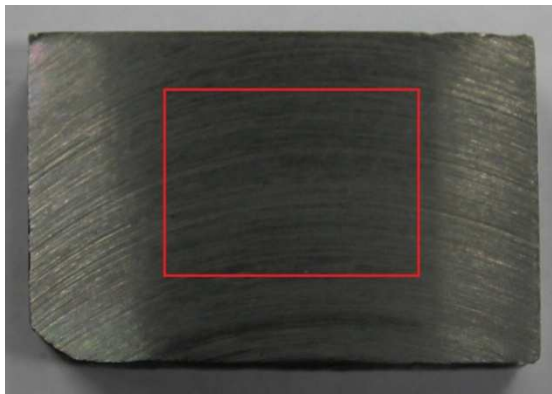
4.3.2. Postup při obrábění

Do nástroje byla vložena nová břitová destička. Do svěráku byl upnut zkušební vzorek. Pomocí posuvů a rychloposuvů stroje bylo najeto na požadovanou hloubku $a_p = 1\text{ mm}$ a aby střed frézy jel středem vzorku. Nastavily se zvolené řezné podmínky. První vzorek se obráběl bez procesní kapaliny (na sucho). Další vzorky se obráběly s předem připravenými chladícími kapalinami a na konec byla použita jako procesní kapalina čistá voda.



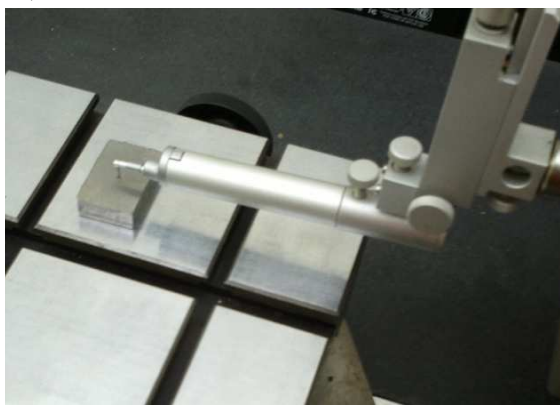
Obr. 31 Příprava pro frézování vzorku na měření drsnosti

Po dokončení obrábění následovalo přenesení vzorků do laboratoře KOM, která je určena pro měření drsnosti. Měření bylo provedeno na profiloměru Mitutoyo Surftest SV-2000.



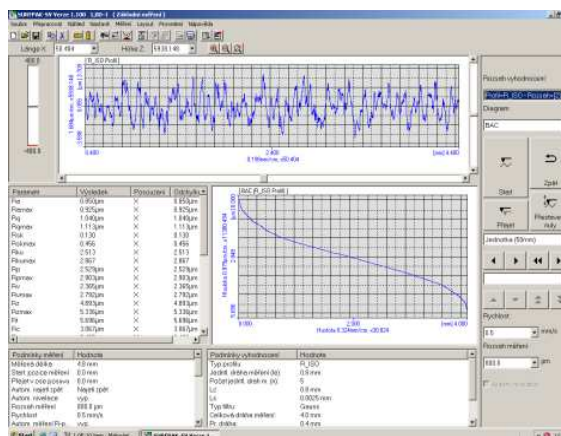
Obr. 32 Obrobený vzorek s vyznačenou oblastí měření drsnosti

Pro měření drsnosti byla vybrána střední oblast vzorku. Speciální diamantový hrot musí přejet vzdálenost 4,8 mm, aby mohl systém vyhodnotit výsledky drsnosti, jeho rychlost pohybu je 0,5 mm/s.



Obr. 33 Detail vzorku a diamantového hrotu při měření drsnosti

Celkem bylo provedeno 70 měření, 10 měření pro každé ze sedmi procesních prostředí. Programu Surfpak vyhodnotil výsledky v datovém a grafickém typu, ze kterých bylo pomocí statistických metod vyhodnoceno měření.



Obr. 34 Grafické a datové výsledky měření drsnosti (uživatelské rozhraní Surfpak)

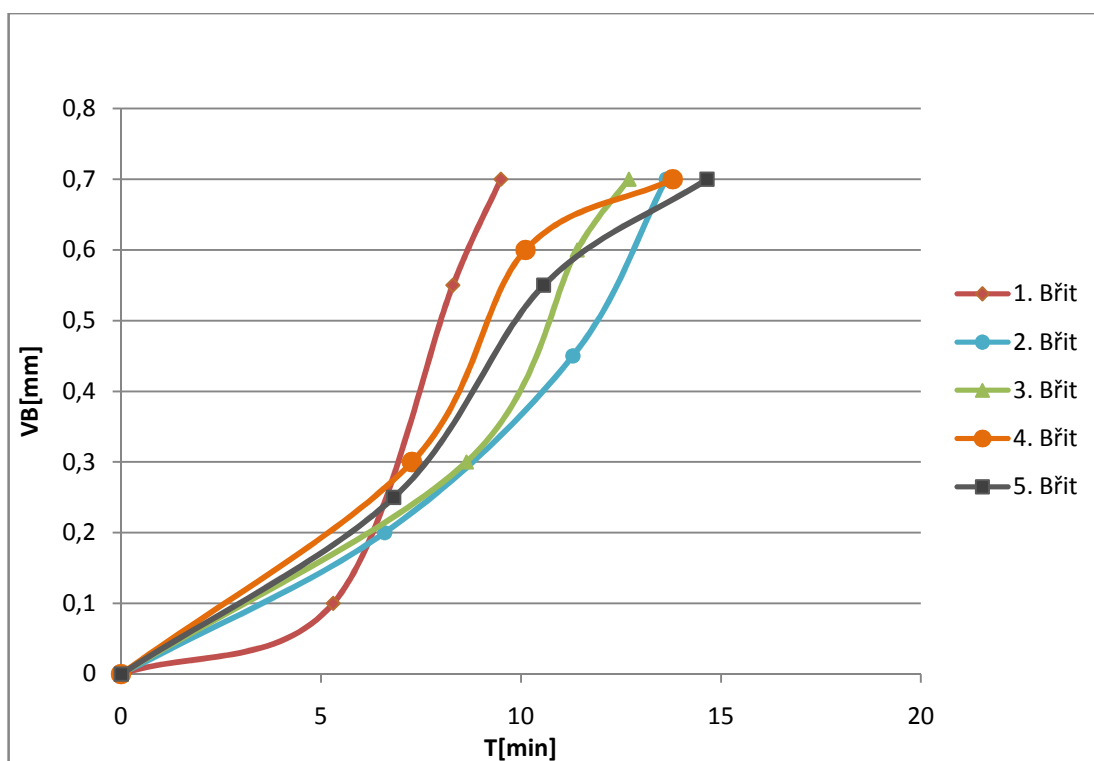
5. POROVNÁNÍ VLIVU RŮZNÝCH PROCESNÍCH KAPALIN NA TRVANLIVOST VBD A DRSNOST POVRCHU PŘI FRÉZOVÁNÍ.

5.1. Porovnání vlivu různých procesních kapalin na trvanlivost VBD

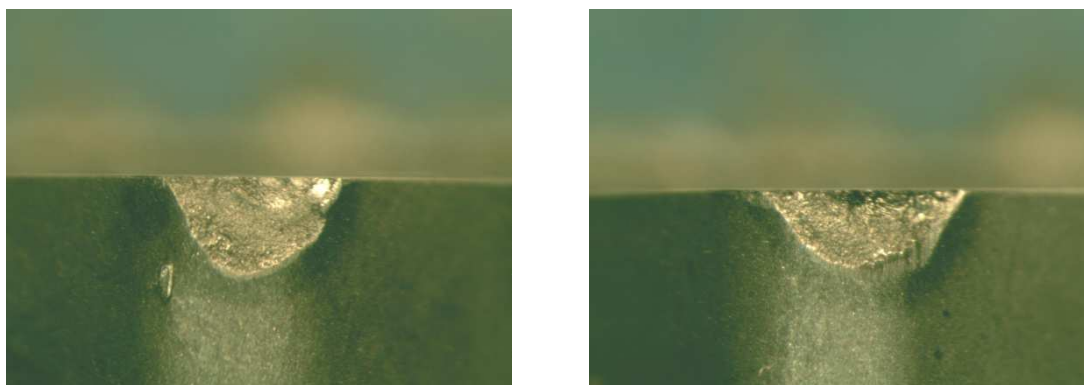
5.1.1. Frézování s kapalinou PARAMO ESOK 1.0D

Tab. 1 Naměřené hodnoty při frézování s kapalinou ESOK 1.0D

Břit	1	2	3	4	5	Průměr
Trvanlivost-T [min]	9,5	13,6	12,7	13,8	14,7	12,9
Obrobená délka-L [mm]	420	600	559	607	645	566,2



Graf 1 Časový průběh opotřebení jednotlivých břitů s použitím kapaliny ESOK 1.0D

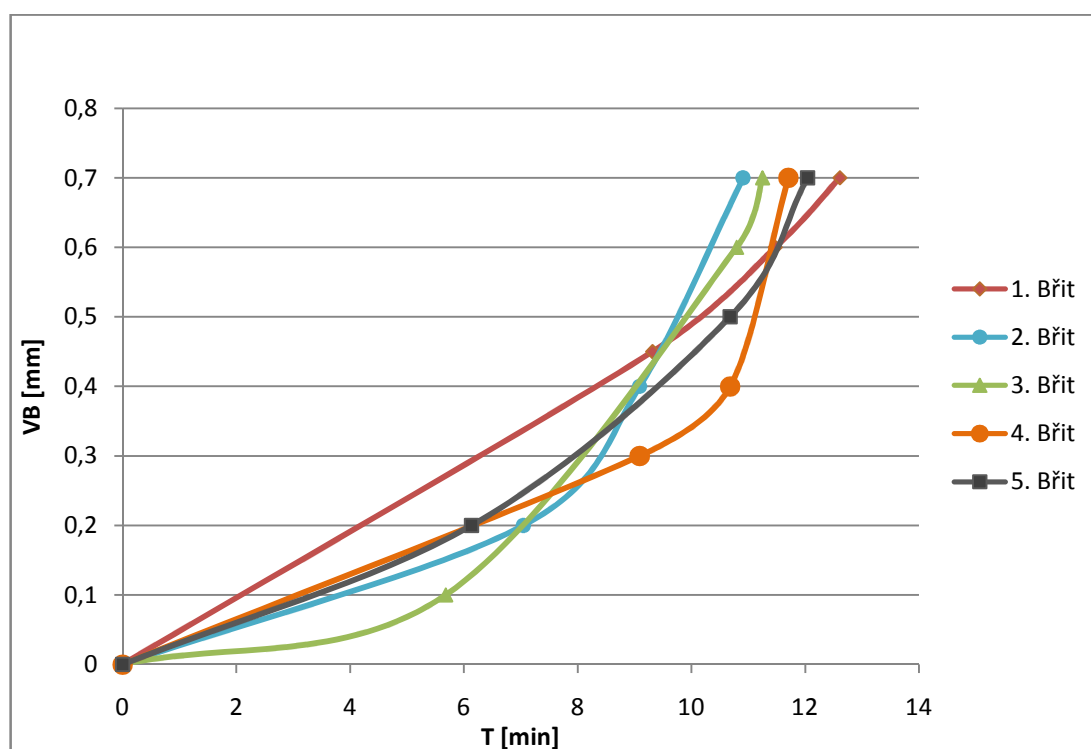


Obr. 35 a 36 Opatření břitů s nejmenší (1) a největší (5) trvanlivostí s ESOK 1.0D

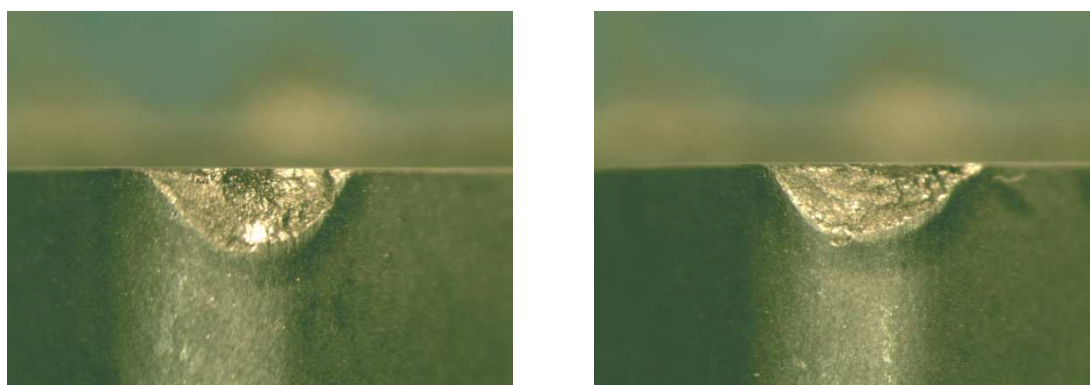
5.1.2. Frézování s kapalinou PARAMO ESOK 1.0E

Tab. 2 Naměřené hodnoty při frézování s kapalinou ESOK 1.0E

Břit	1	2	3	4	5	Průměr
Trvanlivost [min]	12,6	10,9	11,3	11,7	12,0	11,7
Obrobená délka-L [mm]	555	480	495	515	530	515



Graf 2 Časový průběh opotřebení jednotlivých břitů s použitím kapaliny ESOK 1.0E

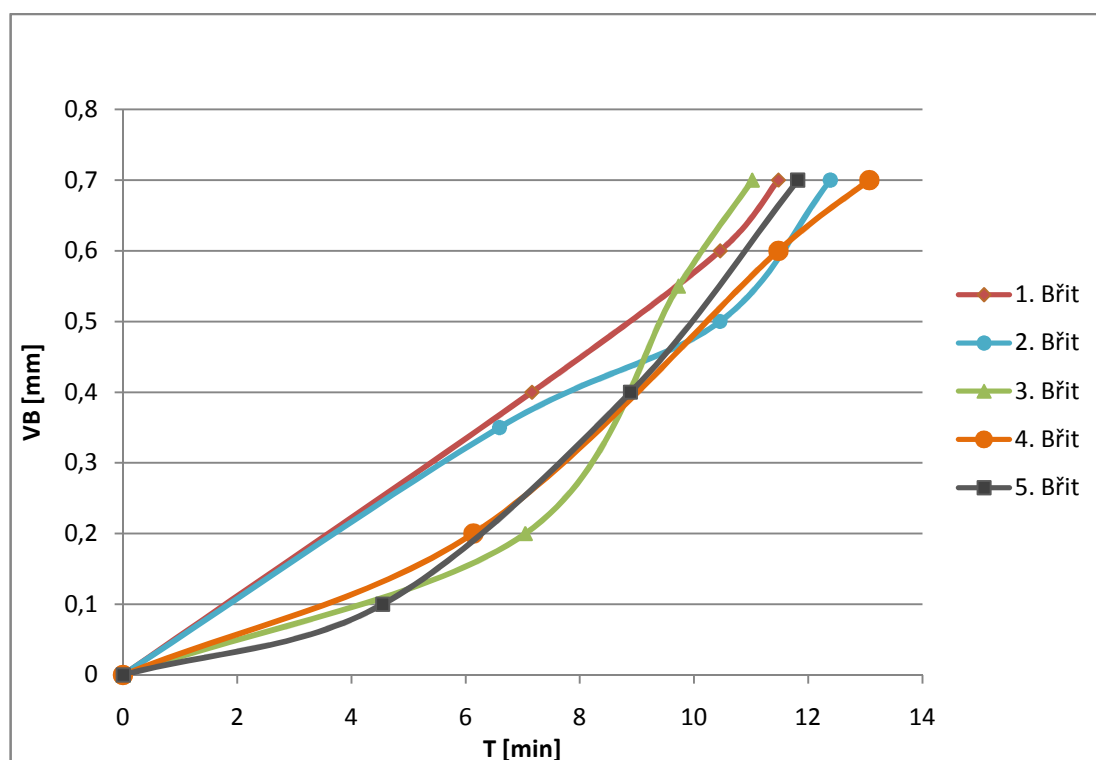


Obr. 37 a 38 Opotřebení břitu s nejmenší (2) a největší (1) trvanlivostí s ESOK 1.0E

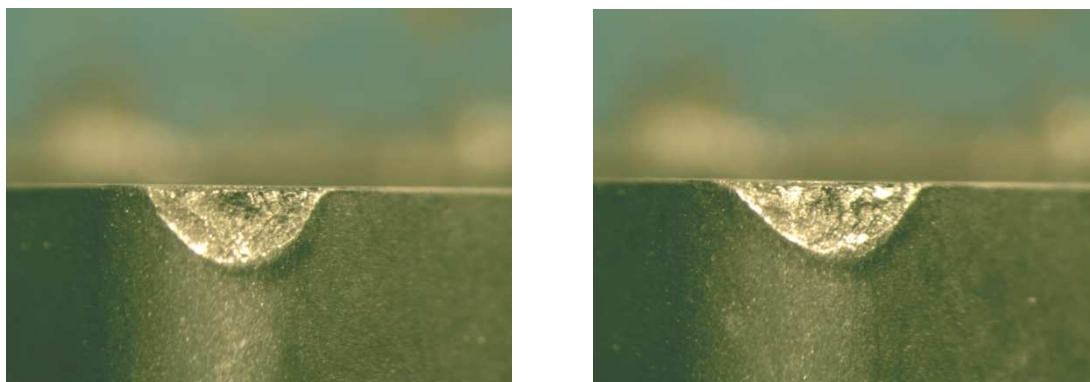
5.1.3. Frézování s kapalinou PARAMO ESOK 1.0F

Tab. 3 Naměřené hodnoty při frézování s kapalinou ESOK 1.0F

Břit	1	2	3	4	5	Průměr
Trvanlivost [min]	11,5	12,4	11,0	13,1	11,8	12,0
Obrobená délka-L [mm]	505	545	485	575	520	526



Graf 3 Časový průběh opotřebení jednotlivých břitů s použitím kapaliny ESOK 1.0F

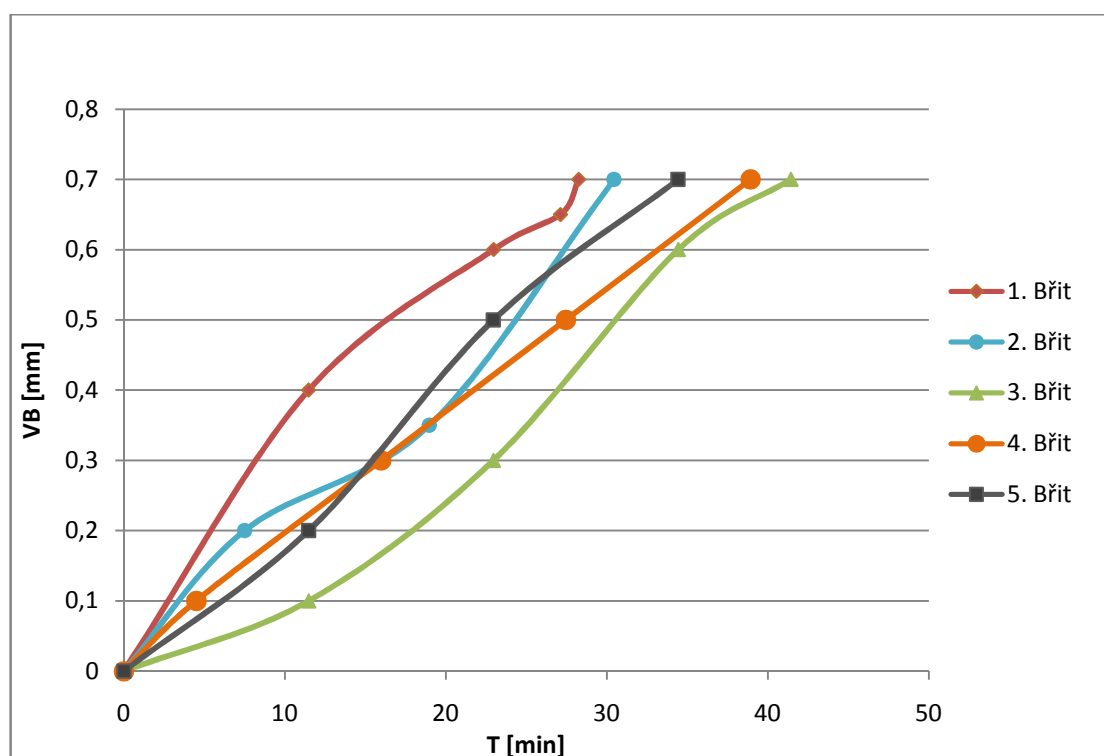


Obr. 39 a 40 Opotřebení břitu s nejmenší (3) a největší (4) trvanlivostí s ESOK 1.0F

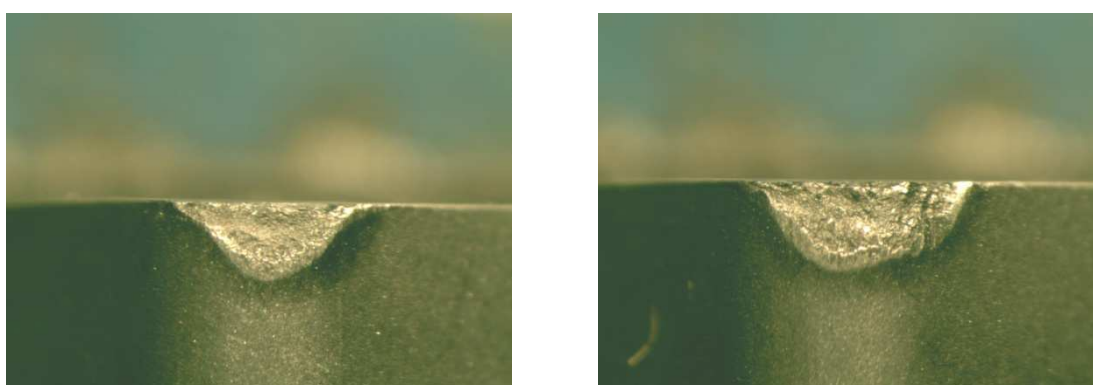
5.1.4. Frézování s kapalinou PARAMO ESOK 1.1B

Tab. 4 Naměřené hodnoty při frézování s kapalinou ESOK 1.1B

Břit	1	2	3	4	5	Průměr
Trvanlivost [min]	28,3	30,5	41,4	38,9	34,4	34,7
Obrobená délka-L [mm]	1243	1340	1823	1713	1515	1526,8



Graf 4 Časový průběh opotřebení jednotlivých břitů s použitím kapaliny ESOK 1.1B

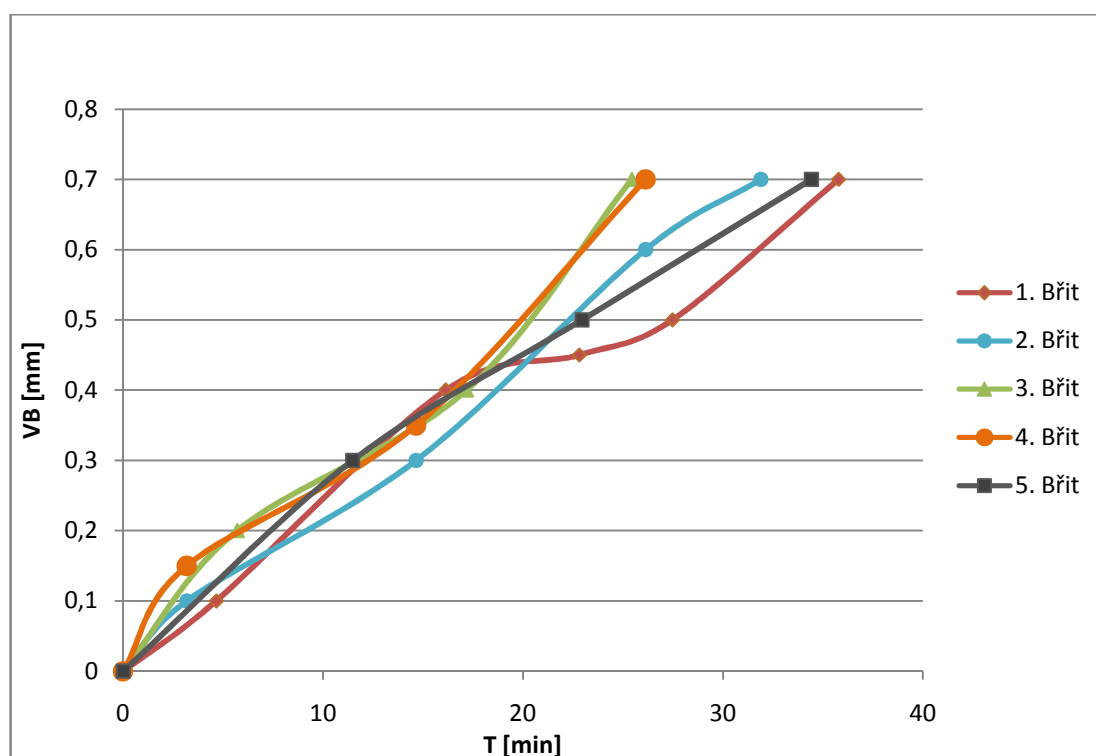


Obr. 41 a 42 Opatření břitů s nejmenší (1) a největší (3) trvanlivostí s ESOK 1.1B

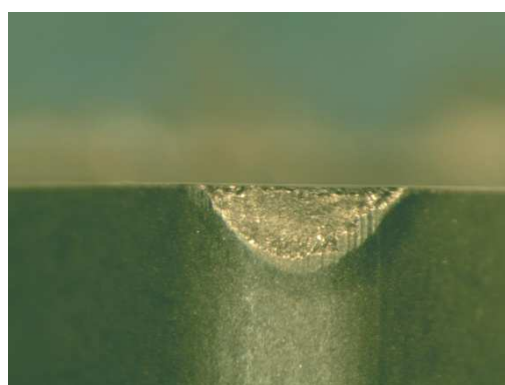
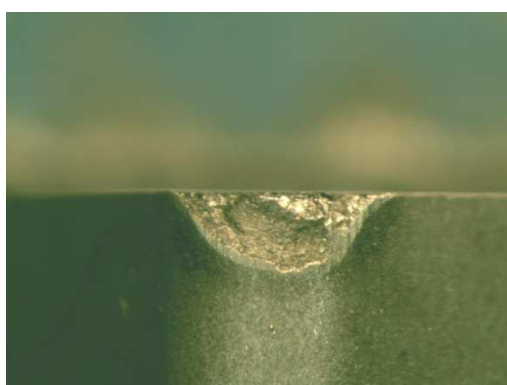
5.1.5. Frézování s kapalinou PARAMO ESOK 1.1D

Tab. 5 Naměřené hodnoty při frézování s kapalinou ESOK 1.1D

Břit	1	2	3	4	5	Průměr
Trvanlivost [min]	35,8	31,9	25,5	26,1	34,4	30,7
Obrobená délka-L [mm]	1575	1404	1120	1150	1515	1352,8



Graf 5 Časový průběh opotřebení jednotlivých břitů s použitím kapaliny ESOK 1.1D

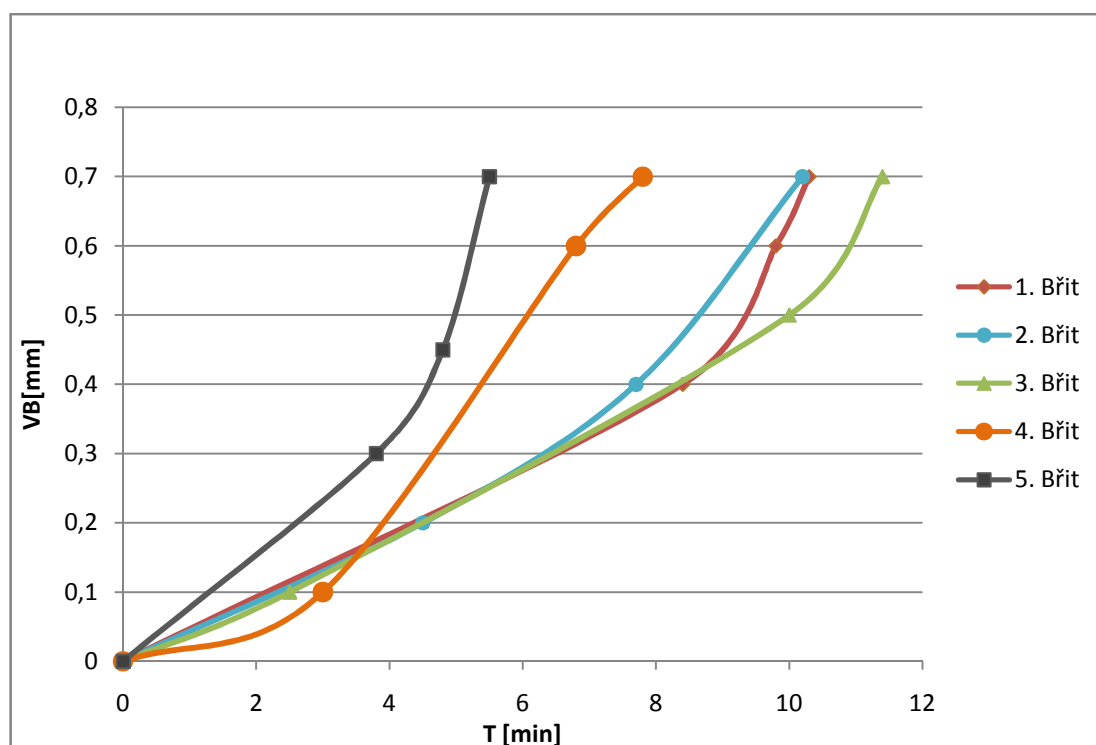


Obr. 43 a 44 Opotřebení břitu s nejmenší (3) a největší (1) trvanlivostí s ESOK 1.1D

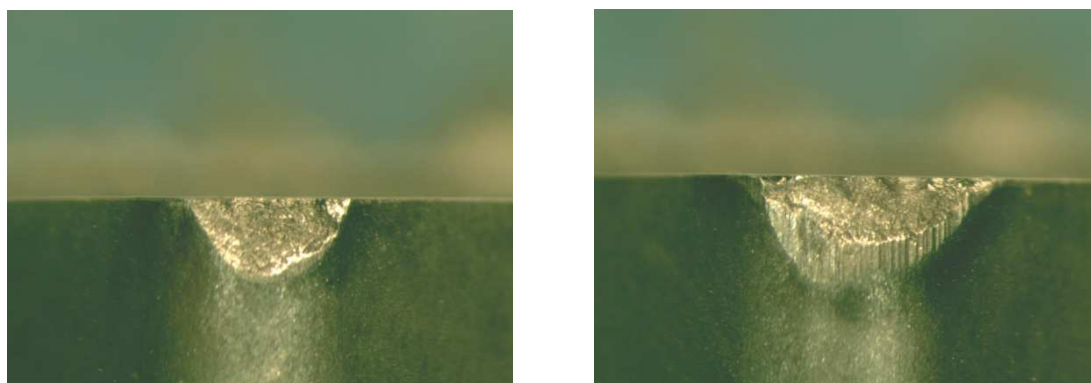
5.1.6. Frézování s vodou

Tab. 6 Naměřené hodnoty při frézování s vodou

Břit	1	2	3	4	5	Průměr
Trvanlivost [min]	10,3	10,2	11,4	7,8	5,5	9,0
Obrobená délka-L [mm]	453	454	502	343	242	398,8



Graf 6 Časový průběh opotřebení jednotlivých břitů s použitím vody

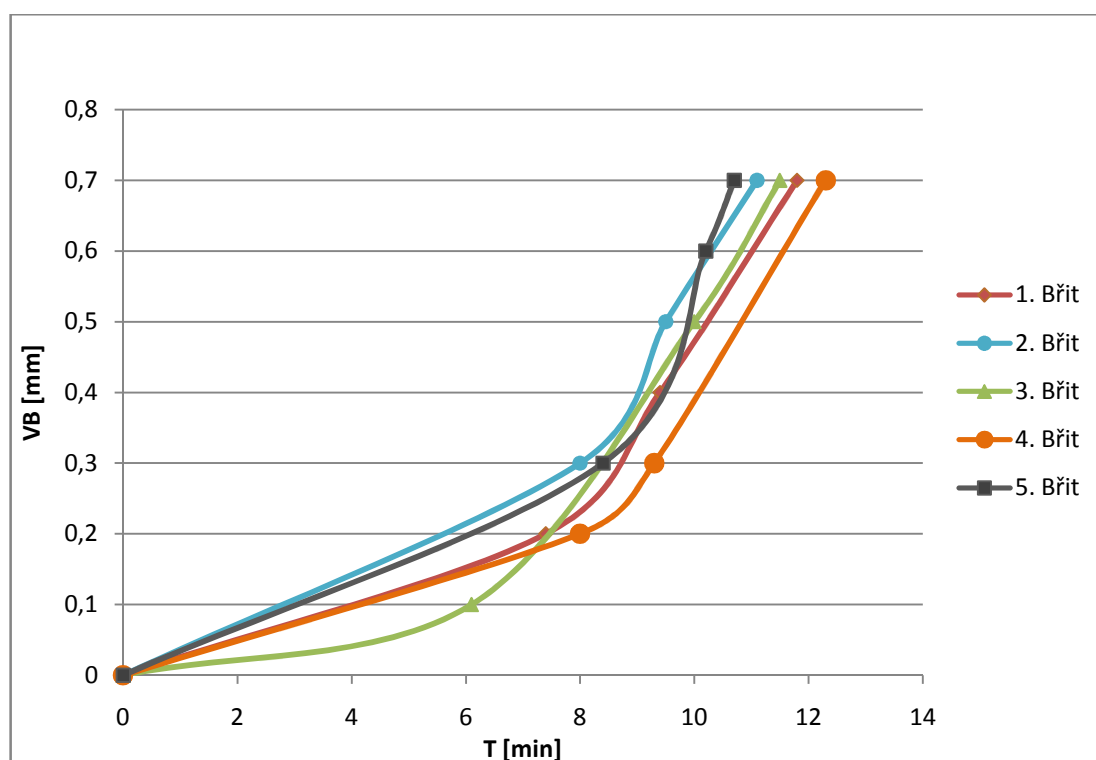


Obr. 45 a 46 Opatření břitů s nejmenší (5) a největší (3) trvanlivostí s vodou

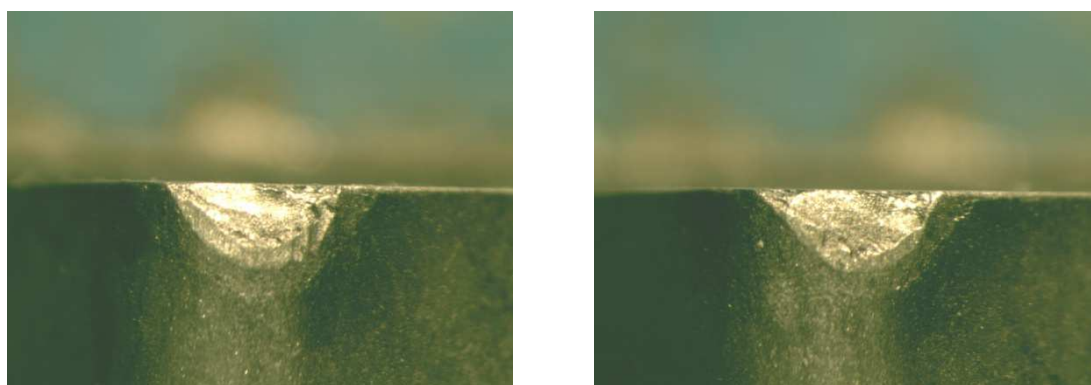
5.1.7. Frézování bez PK

Tab. 7 Naměřené hodnoty při frézování bez PK

Břit	1	2	3	4	5	Průměr
Trvanlivost [min]	11,8	11,1	11,5	12,3	10,7	11,5
Obrobená délka-L [mm]	520	490	505	540	470	505



Graf 7 Časový průběh opotřebení jednotlivých břitů při obrábění bez PK

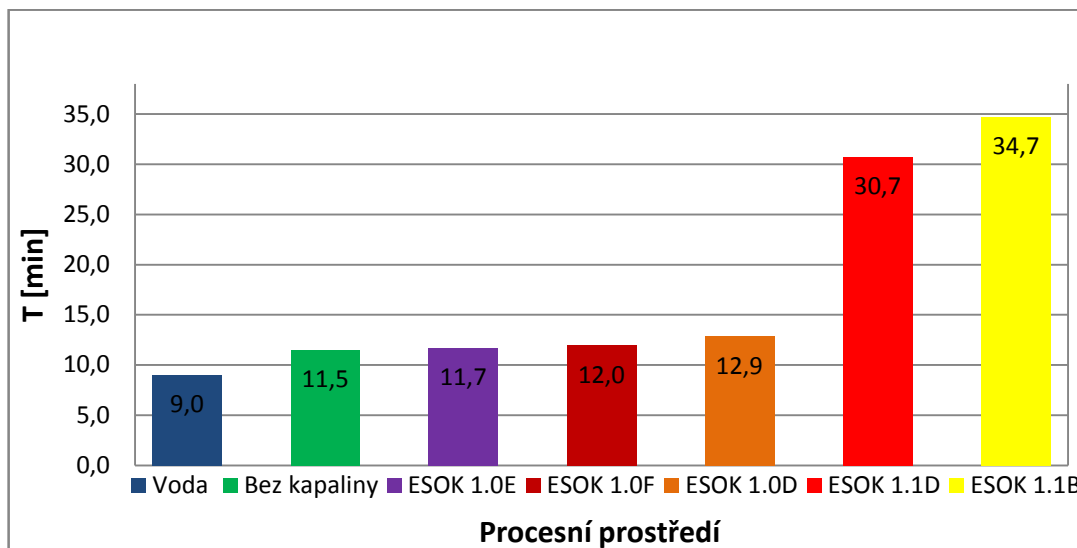


Obr. 47 a 48 Opatření břitů s nejmenší (5) a největší (4) trvanlivostí bez PK

5.1.8. Porovnání průměrných hodnot trvanlivosti v jednotlivých prostředích

Procesní prostředí	Voda	Bez Pk	ESOK 1.0E	ESOK 1.0F	ESOK 1.0D	ESOK 1.1D	ESOK 1.1B
Zlepšení v %	-21,7	-	1,7	4,3	12,2	167,1	201,7
Trvanlivost [min]	9,0	11,5	11,7	12,0	12,9	30,7	34,7

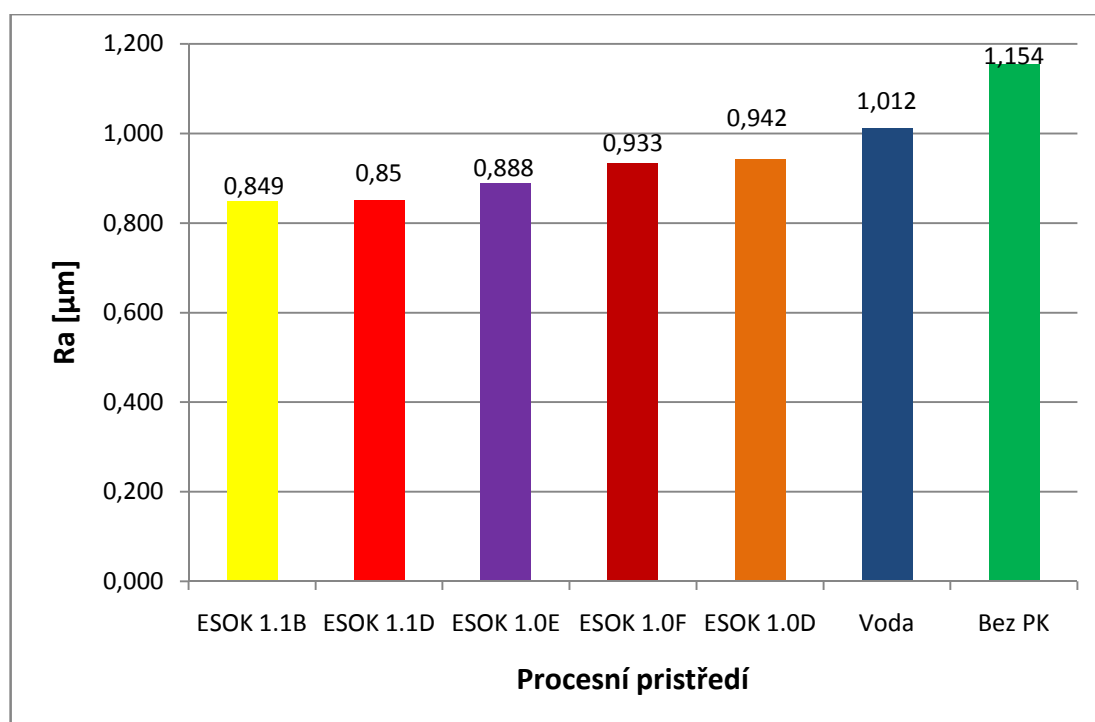
Tab. 8 Průměrné hodnoty trvanlivosti a procentuální zlepšení (zhoršení)



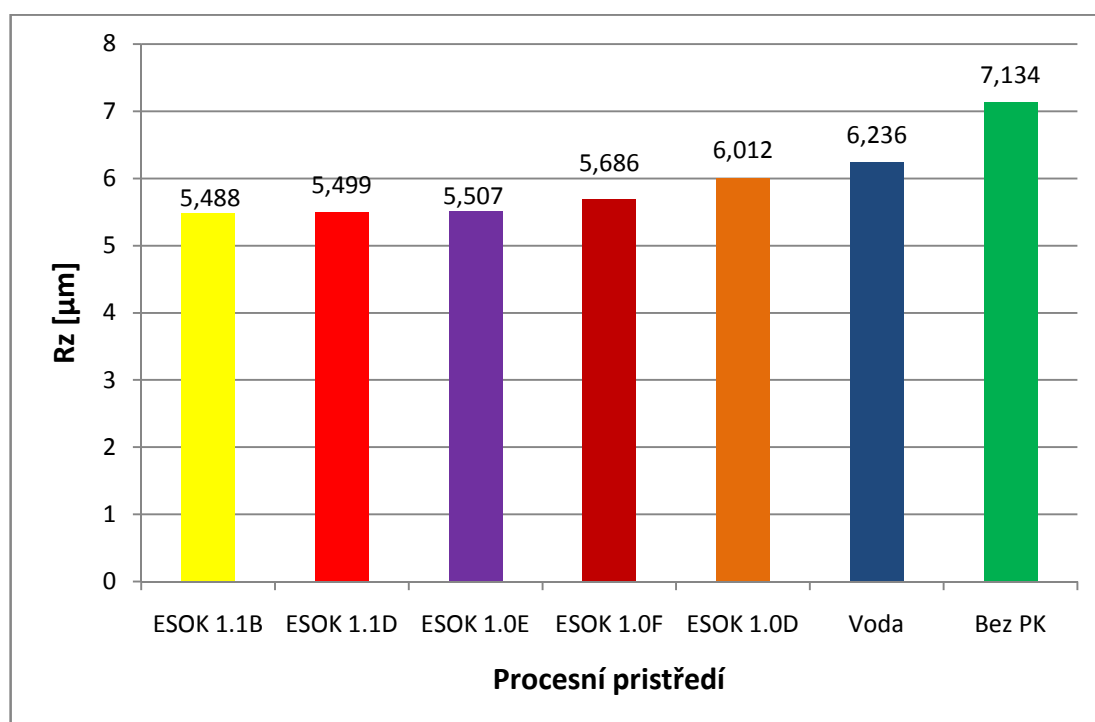
Graf 8 Průměrné hodnoty trvanlivosti jednotlivých prostředí

V tabulce 8 a grafu 8 jsou uvedeny průměrné hodnoty trvanlivosti břitu v jednotlivých procesních prostředích. Tabulka 8 navíc uvádí procentuální zlepšení (zhoršení) trvanlivosti, vztažené k obrábění bez procesní kapaliny. Nejhorší trvanlivost břitu byla při použití vody. Zhoršení o přibližně 22% bylo zapříčiněno teplotním namáháním břitu. Voda jako procesní kapalina se projevuje vysokým chladicím účinkem a nulovým mazacím účinkem. U kapalin ESOK 1.0E, 1.0F a 1.0D se zlepšení trvanlivosti projevilo minimálně v rozmezí 1,7 – 12,2 %. Jako nejlepší procesní prostředí se ukázaly kapaliny PARAMO ESOK 1.1D a ESOK 1.1B se zlepšením o 167% a 202%. Takovéto zlepšení trvanlivosti břitu má za následek dobrý mazací účinek a snížený chladicí účinek těchto kapalin.

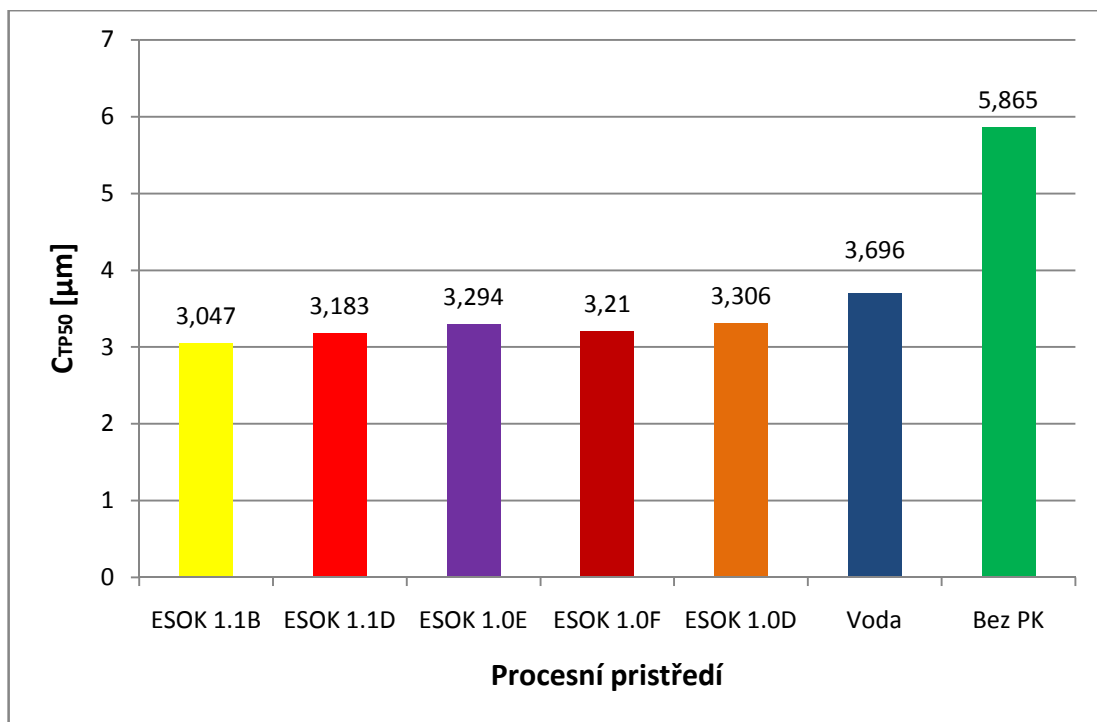
5.2. Porovnání vlivu různých procesních kapalin na drsnost povrchu



Graf 9 Vliv procesních prostředí na průměrnou drsnost R_a



Graf 10 Vliv procesních prostředí na parametr drsnosti R_z



Graf 11 Vliv procesních prostředí na nosný podíl C_{TP50}

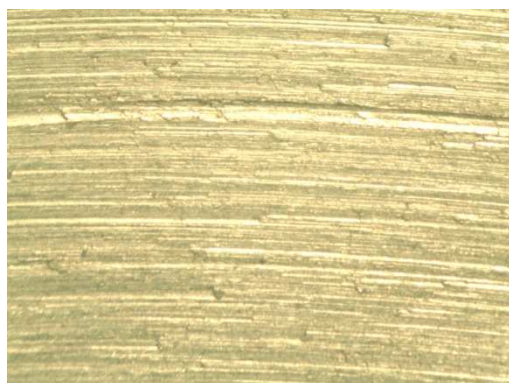
Průměrné hodnoty			
Kapalina	Ra [μm]	C_{TP50}	Rz [μm]
ESOK 1.1B	0,849	3,047	5,488
ESOK 1.1D	0,85	3,183	5,499
ESOK 1.0E	0,888	3,294	5,507
ESOK 1.0F	0,933	3,21	5,686
ESOK 1.0D	0,942	3,306	6,012
Voda	1,012	3,696	6,236
Bez PK	1,154	5,865	7,134

Tab. 9 Průměrné parametry drsnosti povrchu R_a , C_{TP50} , R_z

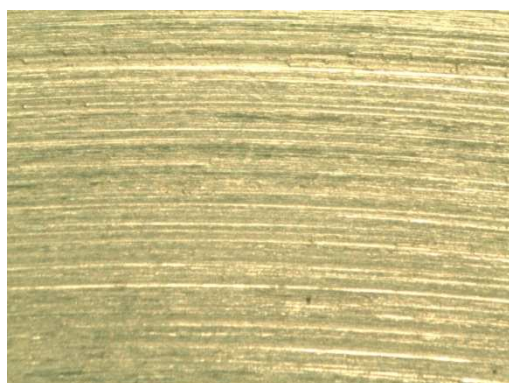
Kapalina	Drsnost Ra [μm]	Zlepšení v %
Bez kapaliny	1,154	-
Voda	1,012	12,3
ESOK 1.0D	0,942	18,4
ESOK 1.0F	0,933	19,2
ESOK 1.0E	0,888	23,1
ESOK 1.1D	0,850	26,3
ESOK 1.1B	0,849	26,4

Tab. 10 Průměrná drsnost povrchu R_a a procentuální zlepšení kvality povrchu

Mikroskopické a klasické fotky obrobených vzorků



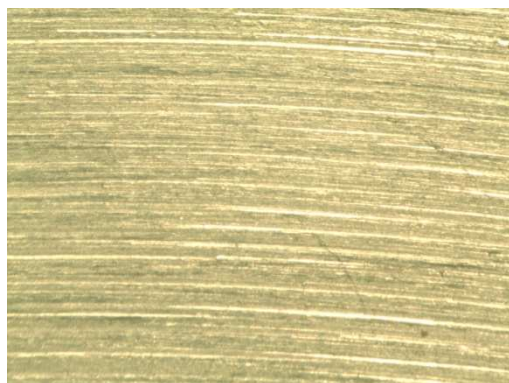
Obr. 49 a 50 Obrobena plocha vzorku bez PK



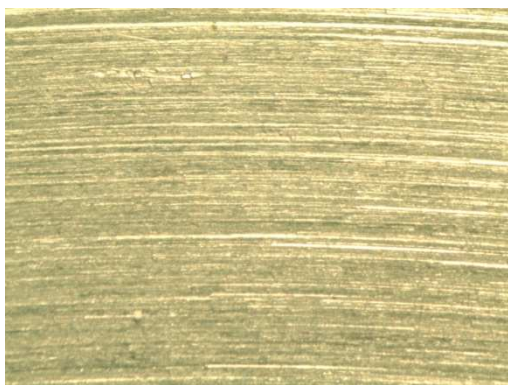
Obr. 51 a 52 Obrobena plocha vzorku s použitím vody



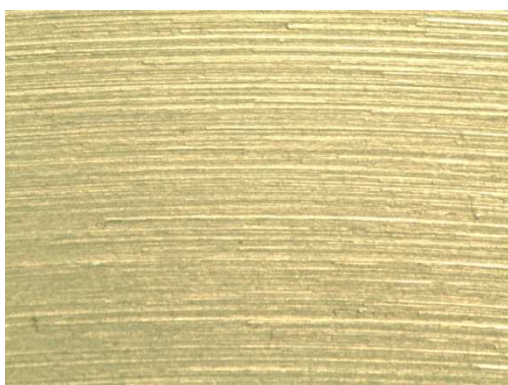
Obr. 53 a 54 Obrobena plocha vzorku s použitím kapaliny ESOK 1.0D



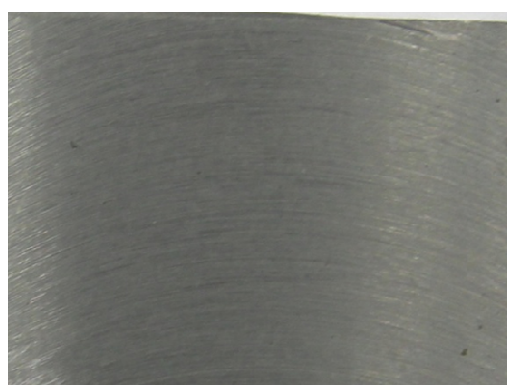
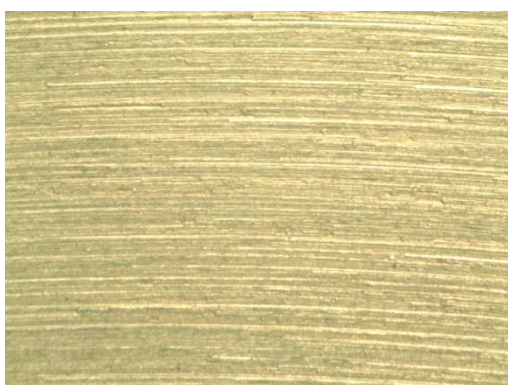
Obr. 55 a 56 Obrobena plocha vzorku s použitím kapaliny ESOK 1.0F



Obr. 57 a 58 Obrobena plocha vzorku s použitím kapaliny ESOK 1.0E



Obr. 59 a 60 Obrobena plocha vzorku s použitím kapaliny ESOK 1.1D



Obr. 60 a 61 Obrobena plocha vzorku s použitím kapaliny ESOK 1.1B

Výsledné hodnoty měření drsnosti ukázaly, že procesní kapaliny včetně vody mají pozitivní vliv na kvalitu povrchu. Výchozí hodnota byla určena drsnost povrchu při obrábění bez PK, od této hranice byly dopočítány hodnoty zlepšení kvality povrchu. Voda dokázala zlepšit kvalitu povrchu o 12,3 %, kapaliny ESOK 1.0D a ESOK 1.0F zlepšily povrch o přibližně stejnou hodnotu 19 %. Následovala procesní kapalina ESOK 1.0E se zlepšením 23,1 %. Nejlepší pozitivní vliv na jakost povrchu měly kapaliny ESOK 1.1D a ESOK 1.1B. Při jejich použití se dosáhlo zlepšení povrchu o 26,4 %.

6. ANALÝZA LABORATORNÍCH VÝSLEDKŮ A VYVOZENÍ ZÁVĚRŮ.

Tato práce byla zaměřena na testování procesních kapalin od firmy PARAMO a.s. při nesousledném frézování konstrukční oceli. Procesní kapaliny byly zkoušeny ze dvou hledisek, vliv procesní kapaliny na trvanlivosti bříty nástroje a vliv procesní kapaliny na kvalitu povrchu. Nakonec byla vyhodnocena nejvhodnější kapalina pro další zkoušky v průmyslu.

Závěr:

Podle porovnání vlivu různých prostředí na průměrnou trvanlivost VBD při frézování konstrukční oceli 14220.3 vyplývá, že při použití vody se snížila trvanlivost o 21-22%, pro kapaliny ESOK 1.0E, ESOK 1.0F a ESOK 1.0D nám vyšla přibližně stejná trvanlivost, při použití ESOK 1.1D, ESOK 1.1B můžeme očekávat zvýšení trvanlivosti o 167-202 % ve srovnání z frézování bez PK (za sucha).

Z porovnání vlivu různých prostředí na průměrnou drsnost povrchu Ra při frézování konstrukční oceli 14220.3 vyplývá, že při použití vody se projevilo zlepšení jakosti povrchu o 12%, při použití ESOK 1.0E, ESOK 1.0F a ESOK 1.0D se drsnost povrchu zlepšila o 19 – 23%, při použití ESOK 1.1D, ESOK 1.1B a můžeme očekávat zlepšení o 26 % ve srovnání z frézování bez kapaliny (za sucha).

Z pohledu zvýšení nosného podílu při použití jednotlivých procesních prostředí se projevilo takto. Voda zvýšila nosný podíl oproti frézování na sucho o 37%, ostatní zbylé kapaliny (ESOK 1.0E, ESOK 1.0F, ESOK 1.0D, ESOK 1.1D, ESOK 1.1B) zvýšily nosný podíl oproti obrábění na sucho v rozmezí 44 – 48 %. Nejvíce zvýšila nosný podíl kapalina ESOK 1.1B a to 48 %.

Z porovnání vlivu různých prostředí na parametr drsnosti povrchu Rz vyšlo, že voda snížila tento parametr oproti frézování na sucho o 13%, ESOK 1.0D o 16%, ostatní zbylé kapaliny (ESOK 1.0E, ESOK 1.0F, ESOK 1.1D, ESOK 1.1B) snížily R_z oproti obrábění na sucho v rozmezí 20-23%. Nejvíce snížila tento parametr kapalina ESOK 1.1B a to 23 %.

Po zhodnocení provedených experimentů obrábění konstrukční oceli se ukázaly jako nejkvalitnější kapaliny Paramo ESOK 1.1B a ESOK 1.1D. Na základě výsledků tohoto experimentu firma Paramo a.s. rozhodla pokračovat s kapalinou ESOK 1.1B ve zkouškách v průmyslu.

Seznam použité literatury:

- [1] KOCMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM Brno, s.r.o., prosinec 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.

- [2] AB SANDVIK COROMANT – SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s.r.o. 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting-A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4

- [3] ADAMEC, J. *Technologie automatizovaných výrob, 1.vyd*
Ediční středisko VŠB – TU Ostrava, 2006 ISBN 80-248-0871-4

- [4] JERSÁK, J. *Základní pojmy, podstata technologie obrábění* (podklad pro výuku předmětu TECHNOLOGIE III - OBRÁBĚNÍ). [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, katedra obrábění a montáže, 2001. Dostupné na: http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_pod.zip.

- [5] BUMBÁLEK, Bohumil, OŠŤÁDAL, Bohuslav a ŠAFR, Emil. *Řezné kapaliny. První vydání*. Praha: státní nakladatelství technické literatury, 1963, s. 136.

- [6] ŠŤUPÁREK, P., MAREK, M., *Technická dokumentace – drsnost povrchu*. VŠB-TU Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky elektrických strojů a přístrojů – KAT 453

- [7] BUMBÁLEK, B., *Integrita povrchu a její význam pro posouzení vhodnosti plochy pro její funkci*. Vysoké učení technické v Brně

- [8] BUMBÁLEK, B., Odvody, V., Ošťádal, B., *Drsnost povrchu*, SBTL – nakladatelství technické literatury. Praha 1989
- [9] BRYCHTA, J., ČEP, R., *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2007. ISBN 978–80–248–1505–3.
- [10] Feron a.s. velkoobchod s hutním materiálem [online] Dostupné na http://www.ferona.cz/cze/katalog/mat_normy.php
- [11] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 4. Vyd. Úvaly: Albra, 2008. 865 s. ISBN 80-86490-74-2
- [12] PRAMET TOOLS, s.r.o. Frézování. [online]. Dostupné na: <http://www.pramet.com/cz/ke-stazeni.htm>
- [13] INTOOL druhy opotřebení břitů [online]. Dostupné na: http://www.taegutec.cz/innotool/prirucka_obrazeni_322.pdf
- [14] TOS Olomouc s.r.o. frézka FNG 32 [online] Dostupné na: <http://www.tos-olomouc.cz/files/oc/produktove-informace/fng32.pdf>
- [15] BRYCHTA, J., ČEP, R., NOVÁKOVÁ, J., PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II - 1. díl*. 1. vyd. [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava

Seznam příloh:

Příloha 1: Parametry nástrojařské frézky FNG 32

Příloha 2: Specifikace břitové destičky SNUN 120412 ;S30

Příloha 3: Vlastnosti oceli 14220

Příloha 4: Naměřené hodnoty drsnosti povrchu

Příloha 1:

Parametry nástrojařské frézky FNG 32

FNG 32

Nástrojařské frézky



TOS Olomouc s.r.o.

Tovární 1180/30
77900, Olomouc - Hodolany

Telefon: 587 404 111

Fax: 587 439 889

E-mail: tos@tos-olomouc.cz

WWW: www.tos-olomouc.cz

IČO: 43965156

DIČ: CZ43965156

Hlavní technická data

Pracovní stůl

Délka upínací plochy	800 [mm]
Upínací plocha stolu	400 x 800 [mm]
Šířka upínací plochy	400 [mm]
Max. zatížení stolu	350 [kg]

Pracovní rozsah

Podélný pojezd X	600 [mm]
Příčný pojezd Y	400 [mm]
Svislý pojezd Z	400 [mm]

Vřeteno

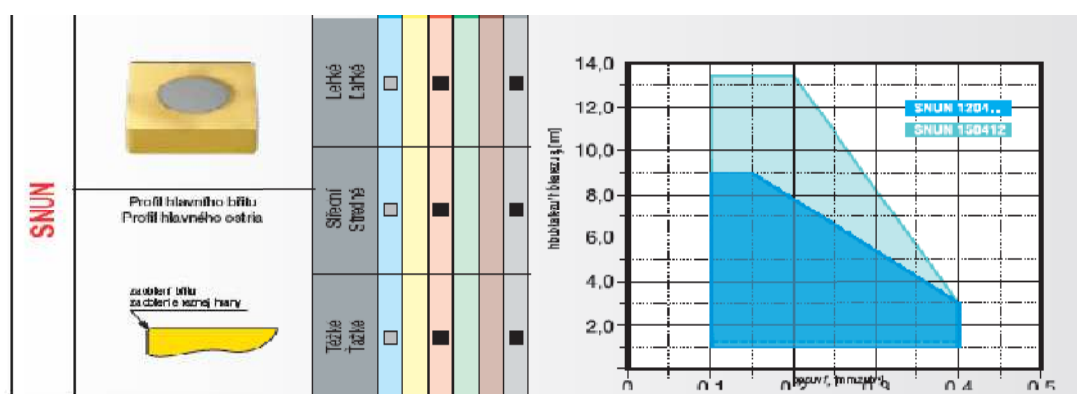
Rozsah otáček	50 - 4000 [min-1]
Počet stupňů otáček	
Výkon hlavního motoru	4,0 [kW]
Kužel ve vřetenu	ISO 40

Příslušenství

Obrážecí hlava
Sklopný stůl otočný
Opěrné rameno s ložiskem
Univerzální dělička
Otočný stůl ruční
Frézovací trny a redukce

Příloha 2:

Specifikace břitové destičky SNUN 120412 ;S30



SNUN 150412

- standardní negativní řezná geometrie
- prioritně jsou tyto VBD určeny pro soustružení
- vhodná pro obrábění materiálů skupin K a H, dále použitelná pro materiály skupiny P
- pro frézy s úhlem nastavení 75°
- pro velikost 12 jsou k dispozici rádiusy 0,8 a 1,2

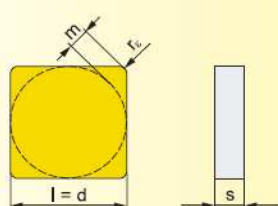
- standardná negatívna rezná geometria
- prioritne sú tieto VBD určené pre sustruženie
- vhodná pre obrábanie materiálov skupín K a H, použiteľná aj pre materiály skupiny P
- pre frézy s uhlom nastavenia 75°
- pre veľkosť 12 sú k dispozícii rádiusy 0,8 a 1,2

Rozsah rezných podmínek / Rozsah rezných podmienok:

f_z (0,10) ÷ 0,40 [mm.zub⁻¹]

a_p 0,5 ÷ (9,0) 13,5 [mm]

SNUN



Velikost Veľkosť	l	d	s	m	r_e
1204	12,700	12,700	4,76	2,30	0,8
1504	15,875	15,875	4,76	2,80	1,2

Nástroje viz str. / Nástroje vid' str.: 50

Utvařeč Utvárač	ISO	ANSI	Materiály								Rádus r_e	Posuv na zub f_{min} f_{max}		Hloubka řezu Hĺbka rezu $a_{p min}$ $a_{p max}$	
			8016	8230	S26	S30									
	SNUN 120408	SNUN 432	●	●							0,8	0,10	0,40	1,00	9,00
	SNUN 120412	SNUN 433		●	●	○					1,2	0,10	0,40	1,20	9,00
	SNUN 150412	SNUN 533		●	●						1,2	0,10	0,40	1,20	13,50

● skladovaný ○ neskladovaný

všechny rozměry v / všetky rozmery v [mm]

Příloha 3:

Vlastnosti oceli 14220

ČSN 41 4220		Mn-Cr ocel k cementování			OCEL	
STN 41 4220					14 220	
Chemické složení [hm. %]						
C	Mn	Si	Cr	P	S	
0,14–0,19	1,10–1,40	0,17–0,37	0,80–1,10	max 0,035	max 0,035	
Polotovary						
[1] předvalky			[5] přesné bezešvé trubky tvářené za studena			
[2] tyče válcované za tepla			[6] tyče tažené za studena			
[3] výkovky			[7] pásy a pruhy válcované za studena			
[4] bezešvé trubky tvářené za tepla						
Mechanické vlastnosti						
Polotovary	[2] [3]	[2]	[3] [4] [5] [6]	[7]		
Rozměr t, d [mm]	–	–	–	–		
Stav	.1	.3	.3	.3	.2	
Mez kluzu R _e nebo R _p 0,2 [MPa] min	–	588	–	–		
Mez pevnosti R _m [MPa]				max 637	–	
Tvrdost HB	min 152	max 197	max 197	–	max 207	
Modul pružnosti E [GPa]	206					
Modul pružnosti ve smyku G [GPa]	79					
Polotovary	[2]	[3]	[2]	[1] [2] ²⁾		
Rozměr t, d [mm]	30 ¹⁾	30 ¹⁾	–	30 ¹⁾	63 ¹⁾	
Stav	.4	.4	.6	.4		
Mez kluzu R _e nebo R _p 0,2 [MPa] min	–	588	–	680	inf. 560	
Mez pevnosti R _m [MPa] min	785	785	–	900	inf. 800	
Tažnost A ₅ [%] min	10	10	–	10	inf. 10	
Koncentrace Z [%] min	30	30	–	30	inf. 30	
Vrbová houževnatost KCU 3 [J.cm ⁻²] min	49	49	–	50	inf. 50	
Tvrdost HB	min 239	min 239	208-269	–	–	
Fyzikální vlastnosti						
Hustota	Měrná tepelná kapacita	Teplotní součinitel roztažnosti		Tepelná vodivost	Rezistivita	
ρ [kg . m ⁻³]	c _p [J . kg ⁻¹ . K ⁻¹]	α [K ⁻¹]		λ _t [W . m ⁻¹ . K ⁻¹]	ρ [Ω . m]	
7 850	–	11,0.10 ⁻⁶		–	–	
Technologické údaje						
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ						
normalizační žhání	880-920 °C	ochlazovat na vzduchu				
žhání na měkko	680-720 °C	ochlazovat v peci				
cementování v plynu	900-930 °C	ochlazovat na vzduchu nebo v ochlazovací jednotce				
v prášku	860-900 °C	ochlazovat v cementační krabici nebo na vzduchu				
v solné lázni	890-910 °C	ochlazovat na vzduchu				
kalení	810-840 °C	ochlazovat v oleji nebo v lázni 150-200 °C				
popouštění	150-200 °C	ochlazovat na vzduchu				
zušlechťování - kalení	850-880 °C	ochlazovat v oleji, tlustší součást ve vodě				
- popouštění	podle pož. pevnosti	ochlazovat na vzduchu				
kalení ref. vzorku - 1. kalení	840-870 °C	ochlazovat v oleji				
- 2. kalení	810-830 °C	ochlazovat v oleji				
teploty přeměn	A _{C1} ~ 740 °C	A _{C3} ~ 840 °C M _s ~ 400 °C				
tvrdost cementační vrstvy	~ 63 HRC					
prokalitelnost	do 65 mm (voda)	do 40 mm (olej)				
TVÁŘITELNOST						
třída tvářitelnosti za tepla 1	teploty tváření	1 200–800 °C ochlazovat na vzduchu				
SVAŘITELNOST						
dobrá						
OBROBITELNOST						
polotovary [2] [3] stav .3	R _m ≤ 640 MPa	soustružení, hoblování		frézování, vrtání		
stav .6	R _m ≤ 880 MPa	14b		14b		
stav .4	R _m ≤ 1240 MPa	12b		12b		
		10b		10b		
pro hladké obrábění se doporučuje zušlechtění na R _m = 690-880 MPa						
Použití						
Vhodná pro strojní součásti pro zušlechtění do průměru 35 mm, k cementování s velkou pevností v jádře, např. hřídele, ozubená kola, vačkové hřídele, zdviháky ventilů, pístní čepy, zubové spojky.						
Ostatní vlastnosti						
Druh oceli podle způsobu výroby		Barevné značení podle ČSN 42 0010		Třída odpadu podle ČSN 42 0030		
martinská nebo elektroocel		modrá-zelená-černá		033		

Příloha 4:**Naměřené hodnoty drsnosti povrchu**

Procesní kapalina ESOK 1.0F			
Měření	Ra [μm]	C _{TP50}	Rz [μm]
1	0,961	3,063	5,645
2	0,926	3,666	6,199
3	0,900	3,436	5,411
4	0,857	3,021	5,16
5	0,956	3,217	5,925
6	0,976	3,257	5,776
7	0,948	3,005	6,142
8	1,026	2,864	5,467
9	0,861	3,364	5,305
10	0,918	3,204	5,829
Ø	0,933	3,210	5,686
(+,-)	0,0381	0,2569	0,1736

Procesní kapalina ESOK 1.0E			
Měření	Ra [μm]	C _{TP50}	Rz [μm]
1	0,922	3,33	6,062
2	0,917	3,741	5,941
3	0,831	2,96	5,124
4	0,823	2,63	5,028
5	0,875	3,231	5,346
6	0,920	3,556	5,719
7	0,851	3,623	5,452
8	0,936	3,264	5,283
9	0,897	3,235	5,63
10	0,909	3,365	5,48
Ø	0,888	3,2935	5,5065
(+,-)	0,0298	0,2461	0,2376

Procesní kapalina ESOK 1.1B			
Měření	Ra [μm]	C _{TP50}	Rz [μm]
1	0,880	3,08	5,682
2	0,790	2,96	5,389
3	0,838	3,31	5,358
4	0,920	3,04	5,59
5	0,849	3,11	5,363
6	0,861	3,06	5,987
7	0,864	3,13	6,051
8	0,854	3,14	5,371
9	0,831	3,01	5,033
10	0,801	2,63	5,057
Ø	0,849	3,047	5,4881
(+,-)	0,0275	0,2521	0,1277

Procesní kapalina ESOK 1.0D			
Měření	Ra [μm]	C _{TP50}	Rz [μm]
1	0,850	2,956	4,893
2	1,019	3,123	7,011
3	0,997	3,686	6,3
4	0,921	3,423	5,761
5	0,864	2,968	5,349
6	0,946	3,114	6,167
7	0,912	3,098	5,63
8	0,899	3,674	5,464
9	1,018	3,147	7,016
10	0,996	3,872	6,524
Ø	0,942	3,306	6,012
(+,-)	0,046	0,5231	0,2433

VODA			
Měření	Ra [μm]	C _{TP50}	Rz [μm]
1	0,974	3,843	6,484
2	1,029	4,498	6,597
3	1,105	4,213	6,805
4	0,946	2,835	5,852
5	1,172	2,931	6,5
6	0,985	3,683	5,864
7	1,086	3,494	6,391
8	0,913	3,286	5,874
9	0,995	4,859	6,082
10	0,915	3,314	5,914
Ø	1,012	3,696	6,236
(+,-)	0,0629	0,2627	0,487

SUCHO			
Měření	Ra [μm]	C _{TP50}	Rz [μm]
1	1,239	7,588	7,028
2	1,001	6,639	6,108
3	1,199	5,242	7,493
4	1,238	7,805	6,667
5	1,237	4,911	7,405
6	1,132	7,335	7,419
7	1,145	4,582	7,508
8	1,136	5,334	7,642
9	1,144	4,5465	7,253
10	1,067	4,668	6,814
Ø	1,154	5,865	7,134
(+,-)	0,574	0,3527	0,9749

Procesní kapalina ESOK 1.1B			
Měření	Ra [μm]	C _{TP50}	Rz [μm]
1	0,880	3,08	5,682
2	0,790	2,96	5,389
3	0,838	3,31	5,358
4	0,920	3,04	5,59
5	0,849	3,11	5,363
6	0,861	3,06	5,987
7	0,864	3,13	6,051
8	0,854	3,14	5,371
9	0,831	3,01	5,033
10	0,801	2,63	5,057
Ø	0,849	3,047	5,4881
(+,-)	0,0275	0,2521	0,1277